

EXTERMINADORES EN EL CAMPO

Impulsores genéticos: cómo favorecen la agricultura industrial y amenazan a la soberanía alimentaria



Sobre el Grupo ETC: El Grupo ETC aborda las cuestiones socioeconómicas y ecológicas relacionadas con las nuevas tecnologías que impactan a las personas marginadas del mundo. Operamos a nivel global y regional, trabajando en estrecha colaboración con organizaciones de la sociedad civil y movimientos sociales, especialmente en África, Asia y América Latina. El Grupo ETC tiene sede en Val David, Canadá, y Davao, Filipinas, y oficinas en Ciudad de México y Guelph, Canadá



Reconocemos el apoyo de Frontier Co-op Giving Fund, CS Fund, Agroecology Fund, 11 Hour Project, Threshold Foundation y Nell Newman Foundation para el desarrollo de nuestro trabajo en el tema de biología sintética. Publicado en castellano con el apoyo de la Fundación Heinrich Boell México y El Caribe.

Más información: www.etcgroup.org

Diseño: Cheri Johnson y Atziri Carranza

Imagen de cubierta: Stig

Infografía: Garth Laidlaw

Traducción al castellano: Octavio Rosas Landa



Fundación Heinrich Böll: Los objetivos que impulsan las ideas y las acciones de la Fundación Heinrich Böll están relacionados con la promoción de la democracia y el respeto a los derechos humanos, la realización de acciones que prevengan la destrucción de los ecosistemas globales, el avance de la equidad entre hombres y mujeres, la garantía de la paz, mediante la prevención de conflictos en zonas de crisis y la defensa de la libertad de los individuos frente al excesivo poder económico y político. Mantenemos una vinculación estrecha con el Partido Verde Alemán (Alianza 90 / Los Verdes) y actuamos como un centro de investigación y difusión de ideas para proyectos y visiones verdes. Somos parte de una red internacional que comprende más de 100 proyectos asociados en aproximadamente 60 países. La Fundación Heinrich Böll trabaja de manera independiente y nutre un espíritu de apertura intelectual. www.boel/de/en



Exterminadores en el campo

Impulsores genéticos: cómo favorecen la agricultura industrial y amenazan a la soberanía alimentaria

Octubre, 2018







Resumen: impulsores genéticos, agricultura y alimentación



El problema

El primer intento por emplear tecnologías de ingeniería genética en la agricultura implicó la alteración de cultivos comunes para hacerlos resistentes a pesticidas o herbicidas. El enfoque basado en cultivos genéticamente modificados se enfrentó con múltiples problemas cuando los consumidores rechazaron los alimentos transgénicos y los agricultores descubrieron que los beneficios prometidos sólo se materializaban, si acaso, en el corto plazo. Ahora, los biotecnólogos contemplan una nueva estrategia: diseñar y desarrollar nuevas formas invasivas de modificaciones genéticas para controlar insectos, hierbas y crear nuevos monopolios. Su plan consiste en utilizar lo que se denomina "impulsor genético" o "forzador genético" (Recuadro 1).
Los experimentos con impulsores genéticos tienen como objetivo habilitar organismos que diseminen automáticamente sus genes diseñados en hábitats y ecosistemas completos. Estos organismos podrían –se afirma– extinguir algunas de las principales pestes agrícolas, reducir la necesidad de plaguicidas y acelerar los programas de obtención de nuevas variedades de plantas. Según algunos de sus promotores, los impulsores genéticos podrían incluso ser compatibles con organismos no transgénicos y con la agricultura orgánica.

Los riesgos

La posibilidad de crear organismos invasivos capaces de esparcir genes de diseño en campo abierto, reedita uno de los peores escenarios imaginados con organismos transgénicos y lo convierte en una estrategia industrial deliberada. Mientras que la primera generación de transgénicos esparció sus genes principalmente por accidente, los organismos con impulsores genéticos (desde ahora *OIG*) tienen por objetivo alterar el genoma de las poblaciones silvestres en el mundo real.
Su propagación sería deliberada. Los científicos detrás de los impulsores genéticos apenas comenzaron a preguntarse qué pasaría si los genes no se comportan como sus modelos predicen. ¿Qué pasaría si, por ejemplo, genes dirigidos a producir esterilidad femenina –que han demostrado poder eliminar poblaciones de mosquitos en laboratorio–, se transfirieran a especies que polinizan nuestros cultivos o son fuente de alimento para aves, reptiles e incluso humanos? ¿Qué pasaría si genes benéficos se desactivaran o si la alteración genética modificara los patrones o incrementara la incidencia de enfermedades?
Nadie está investigando cómo regresar a la lámpara al genio de los impulsores genéticos, solo están buscando la forma de hacerlo salir. La lógica detrás de la insistencia en usar

impulsores genéticos en agricultura asume que problemas extraordinariamente complejos del sistema alimentario pueden resolverse de forma simple con innovaciones de alta tecnología.

Los actores

Actualmente, los proyectos conocidos para el desarrollo de impulsores genéticos reciben un financiamiento conjunto que asciende a 250 millones de dólares, provenientes principalmente de la Agencia Militar de Proyectos de Investigación Avanzada del gobierno de Estados Unidos (DARPA), la Fundación Bill y Melinda Gates, la Fundación Tata y el Proyecto de Filantropía Abierta de Facebook. Pese al enorme financiamiento de la DARPA, los principales promotores de los impulsores genéticos reconocen en privado y en sus patentes que su objetivo comercial está en los agronegocios.

Entonces no sorprende que esté creciendo una red de investigación de bajo perfil sobre impulsores genéticos para usarse en agricultura. La primera empresa centrada en impulsores genéticos agrícolas, Agragene, se ha asociado con una serie de grupos empresariales vinculados a ciertos productos agrícolas, como el Consejo Californiano de la Cereza y el Consejo para la Investigación en Cítricos de Estados Unidos, así como con empresas ganaderas, las cuales ven a los impulsores genéticos como una maravillosa bala de plata para los retos que enfrentan en las parcelas. Entretanto, las grandes empresas de los agronegocios, como Monsanto-Bayer, Syngenta-ChemChina, DowDuPont (ahora llamada Corteva Agriscience) y Cibus acechan en las sombras de las discusiones sobre las políticas para los impulsores genéticos, aconsejadas por científicos y asesores de relaciones públicas para mantenerse, por ahora, con un bajo perfil.



Las políticas

Los impulsores genéticos están diseñados para invadir, persistir y propagarse. Sus desarrolladores afirman que podrán confinarlos o controlarlos, pero estas presunciones retóricas deben demostrarse y someterse a riguroso escrutinio. Entretanto, la justicia y la precaución demandan una moratoria a cualquier tipo de liberación de estos organismos en campo abierto. Deben acordarse y ponerse en práctica reglas internacionales estrictas para el manejo de impulsores genéticos en investigaciones en laboratorio, lo mismo que para su contención, antes de seguir adelante con la investigación, incluso en laboratorios. Actualmente ya hay todas las condiciones para desarrollar organismos con impulsores genéticos sin someter el proceso a ningún tipo de regulación de bioseguridad. En algunas jurisdicciones, como en Brasil, no es claro si estarán sujetos a las débiles reglas de bioseguridad que controlan la producción y uso de los cultivos transgénicos.

Tecnologías que se originan en el laboratorio, como los OGM —y ahora los impulsores genéticos—, omiten las profundas injusticias y desequilibrios de poder que exigen respuestas políticas y escrutinio democrático, en vez de paliativos tecnológicos. En los ámbitos nacional e internacional, falta abordar las preguntas sobre evaluación de las tecnologías y consentimiento social.

El Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ya colocó la gobernanza de los impulsores genéticos en el centro de sus deliberaciones. Los tópicos que tiene pendientes el CBD son la posible moratoria a los impulsores genéticos, así como la necesidad del consentimiento previo, libre e informado de los afectados, en primer lugar los campesinos.

Este informe se publica como una alerta a los gobiernos, las organizaciones de la sociedad civil y los movimientos sociales en todo el mundo. Señala cómo al tiempo que se promueven para la medicina y la conservación, los OIG encontrarán su uso real en la producción de alimentos y la agricultura industrial. Este informe llama a poner pausa a la investigación aplicada en impulsores genéticos y a detener sus liberaciones al medio ambiente, hasta que se haya realizado un proceso público, exhaustivo y amplio de diálogo y se establezcan reglas para asegurar un consentimiento claro y la defensa de la soberanía alimentaria.

1. Introducción

Hace medio siglo, genetistas lograron hacer el primer corte intencional al código genético de un organismo vivo. Al desarrollar técnicas para remover e insertar secciones de una cadena de ADN, iniciaron una nueva etapa en la industrialización de la vida, que comenzó a modificar la comida, el comercio, el uso del suelo, las formas de subsistencia, las culturas y las características genéticas del mundo vivo.

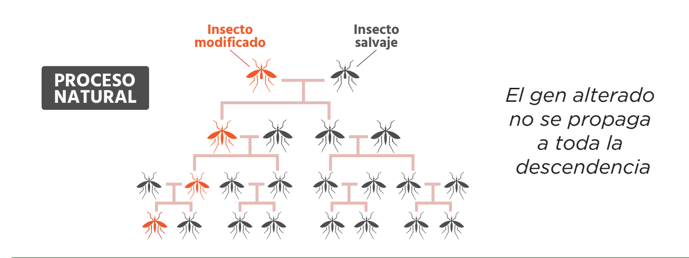
El aumento en el uso de organismos transgénicos por parte de los agricultores —muchas veces sin su consentimiento plenamente informado y, a menudo, con resultados grises— todavía genera miles de millones de dólares a las empresas agroquímicas como Monsanto (ahora Bayer) y Syngenta (ahora Sinochem-ChemChina). Sin embargo, el aumento en el uso de transgénicos se ha estancado a medida que se han evidenciado sus riesgos predichos, como el de la intensificación continua y permanente del empleo de sustancias químicas tóxicas.[1] Con la llegada de las llamadas técnicas de "edición genética" y, particularmente, con el desarrollo de los "impulsores genéticos", las grandes empresas de agronegocios están modificando su estrategia comercial y publicitaria para poder acelerar nuevamente el ritmo de sus negocios.

Los organismos con impulsores genéticos (OIG) son aquellos que, supuestamente, imponen (con un alto grado de confiabilidad) la persistencia de uno o más rasgos genéticos en las futuras generaciones de una misma especie. El término "impulsor genético" que los científicos franceses traducen como forcage génétique (literalmente: forzamiento genético), vuelve evidente la intención: forzar un cambio genético de diseño humano en toda una población o, incluso, en toda una especie. Si funcionan (lo cual no está garantizado en el presente), los OIG podrían acelerar la distribución de genes de producción corporativa, desde el laboratorio hacia el resto del mundo vivo, a una velocidad vertiginosa, y comenzar un proceso que podría ser irreversible.

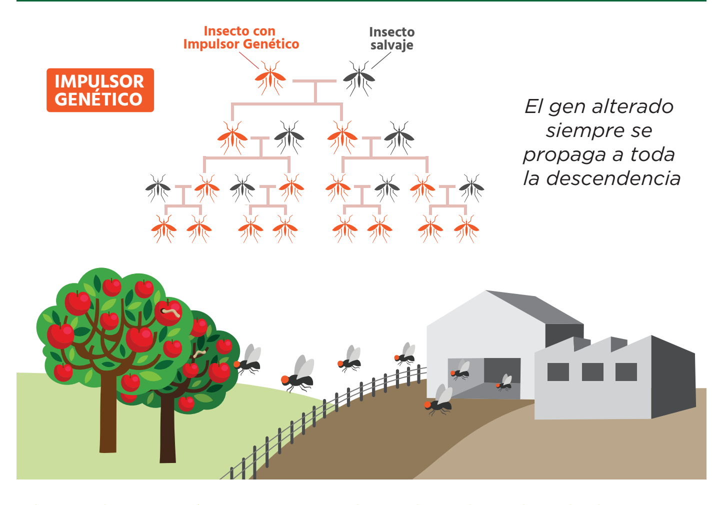
Desde que esta poderosa técnica irrumpió en la ciencia, los corifeos de la industria biotecnológica han trabajado para difundir promesas de que los OIG servirán para el bien común: desde detener la malaria hasta salvar de los roedores los huevos de preciadas aves marinas. No obstante, el área de actividad que probablemente será más impactada por la invención de los impulsores genéticos y que podría tener consecuencias dramáticas, apenas se menciona: la agricultura y la pesca. Es decir, nuestros sistemas alimentarios. Las parcelas industriales podrían ser el escenario donde los impulsores genéticos tengan su primer impacto. Aunque no han sido probados más que a través de algunos experimentos de laboratorio, los impulsores genéticos constituyen una tecnología tan fuerte y disruptiva que las grandes empresas de agronegocios no pueden darse el lujo de soslayar la investigación sobre su potencial. Los impulsores genéticos ofrecen nuevas oportunidades de negocios prometiendo solucionar diversos problemas que enfrentan los agricultores.

Figura 1: Diferencia entre moscas que se comportan según las leyes mendelianas de la herencia y cuando son equipadas con impulsores genéticos

Herencia normal en cuatro generaciones de moscas



Herencia con impulsores genéticos en cuatro generaciones de moscas



El impulsor genético impone el cambio de color de la especie. Insertado en una sola mosca, el impulsor genético forzará que su descendencia herede y exprese ese rasgo genético y lo siga transmitiendo con alto grado de confiabilidad al resto de las generaciones. Con el tiempo, el rasgo genético del color modificado de la mosca se propagará a la totalidad de la población de moscas. Imagen: Amigos de la Tierra.

Las primeras patentes sobre impulsores genéticos se redactaron pensando principalmente en aplicaciones agrícolas. Una de las primeras empresas especializadas en trabajar con impulsores genéticos (Agragene) se centra específicamente en la agricultura. Las gigantes de los agronegocios —como Bayer, Syngenta-ChemChina y Corteva (Dow-DuPont— poseen grandes inversiones en el desarrollo de las tecnologías para la edición genética y calladamente cabildean con los elaboradores de políticas en distintos países. Las empresas comercializadoras de materias primas agrícolas (commodities) destinan fondos públicos y privados de forma cada vez más pública a financiar experimentos con impulsores genéticos. Las empresas agroindustriales y los laboratorios públicos se están asociando para desarrollar aplicaciones de estas tecnologías para la agricultura.

A pesar de todas estas señales, casi nadie en los foros globales sobre agricultura y alimentación ha discutido públicamente los OIG. Este informe es un intento de corregir esa omisión, argumentando que estas tecnologías no deben aplicarse sin que se implemente, previamente, un proceso para la obtención de consentimiento público informado sobre sus consecuencias.

La ausencia de la agricultura en las discusiones sobre impulsores genéticos no es un mero descuido. Conscientes de la fuerte oposición global a la ingeniería genética en los sectores de la agricultura y los alimentos, los promotores de esta tecnología han planeado cuidadosamente qué aplicaciones habrán de ser anunciadas, en una perspectiva estrecha, para el conocimiento del público y de los tomadores de decisiones, para que las propuestas con mayores probabilidades de recibir apoyo público (por ejemplo, las aplicaciones en medicina o de conservación ambiental) sirvan como emblema y ayuden a formar la opinión pública y la aceptación de las tecnologías.

Anticipar únicamente escenarios de éxito para una nueva tecnología constituye una buena estrategia de relaciones públicas pero una mala gobernanza. Esta fue la dolorosa lección que aprendieron los gobiernos después de que se constituyó una resistencia global a los transgénicos. La intención es mantener a los agricultores y al público general en la ignorancia sobre los impulsores genéticos para que no puedan emitir un juicio sobre sus implicaciones potenciales, especialmente en caso de imponerse un sistema alimentario *forzado genéticamente.*

Si la expectativa es que los OIG desempeñen un papel central en los sistemas agrícolas y alimentarios (así como en aplicaciones de corte militar), el debate global sobre los impulsores genéticos debería de conducirse atendiendo las implicaciones para la agricultura y la alimentación. Los movimientos populares, campesinos y todos aquellos que se preocupan por el derecho a una alimentación sana y por la agricultura sustentable, deberían exigir, hoy mismo, un debate público urgente sobre los OIG.



Recuadro 1: Términos clave

Impulsor genético

El término "impulsor genético" se refiere a una técnica dirigida a alterar la estructura genética de poblaciones o especies enteras de seres vivos, mediante la liberación de "genes egoístas de diseño". El término "egoísta" se refiere al modo como uno o más rasgos genéticos se propaga automáticamente en una población en cada generación sucesiva. Uno de los pioneros de los impulsores genéticos, Austin Burt del Imperial College de Londres, reportó en 2003 que la tecnología elevaba la posibilidad de "manipular las poblaciones naturales" y, potencialmente, de "erradicar o modificar genéticamente especies particulares". [2]

Normalmente, la descendencia de los organismos de reproducción sexuada tiene 50% de probabilidad de heredar un gen de sus padres. Los impulsores genéticos son diseñados para ser una tecnología invasiva, asegurando que, en unas cuantas generaciones, la descendencia completa de un organismo portará el gen de diseño deseado (Figura 1).

El interés en el uso de impulsores genéticos aumentó con el advenimiento de la edición genética por medio de CRISPR-Cas9, técnica que puede ser usada para copiar una mutación de un cromosoma a otro, creando impulsores genéticos sintéticos o de diseño.

Organismos con Impulsores Genéticos (OIG)

Los OIG son organismos que contienen impulsores genéticos de diseño. Están diseñados para sustituir, en el tiempo, a los organismos sin impulsores genéticos de la misma especie en una población, por medio de una reacción en cadena no controlada. Esta característica los puede convertir en un riesgo biológico más peligroso que el que representan los Organismos Genéticamente Modificados (OGM o transgénicos). Samson Simon y sus colegas de la Agencia Federal Alemana para la Conservación de la Naturaleza, han descubierto cinco niveles en los que los OIG difieren de los OGM ya liberados al ambiente. Sus investigaciones concluyen que "una clara comprensión y análisis de estas diferencias es crucial para cualquier régimen de evaluación del riesgo, así como para una evaluación ética y socialmente aceptable, que es vital para la aplicación de la tecnología [de OIG]". [3]

Tal vez los impulsores genéticos no avancen a ningún lado, al menos durante la próxima década. Provocar alboroto en torno a una novedad tecnológica permite a los científicos justificar la necesidad de financiar proyectos que prometen ser "balas de plata"[4,5] y los impulsores genéticos siguen el mismo patrón de promoción —previamente visto— de la energía nuclear, que se decía "demasiado barata para medirse"; o de los transgénicos como la solución al problema del hambre mundial, o de los biocombustibles como solución al cambio climático. Es posible incluso que algunos dentro de la comunidad científica, que aún aspiran a imponer los transgénicos dentro de los sistemas alimentarios, vean una ventaja estratégica en la creciente controversia sobre los impulsores genéticos, al creer que puede servir como distracción por la que las tecnologías más viejas de OGM puedan revalorarse como una opción "menos radical" que los organismos con impulsores genéticos.

Mientras que el reflector mediático se concentra en el potencial de los impulsores genéticos para la eliminación de mosquitos que transmiten la malaria en África Occidental, múltiples inversiones multimillonarias se canalizan al desarrollo de OIG para uso agrícola. Este informe busca, entonces, brindar información para apoyar una fuerte respuesta precautoria de las organizaciones de la sociedad civil y los tomadores de decisiones frente a las amenazas que representan las tecnologías de impulsores genéticos para los agroecosistemas y la salud humana.

2. La promesa de la genética activa

Los organismos con impulsores genéticos son las últimas "balas de plata" tecnológicas que los principales agentes de la agricultura industrial quieren imponer, como presuntas soluciones a las continuas crisis agrícolas y alimentarias. Después de las promesas incumplidas de las semillas mejoradas, los pesticidas y fertilizantes de la Revolución Verde, se produjeron diversos cultivos genéticamente modificados en las décadas de 1990 y 2000, pero sus beneficios nunca se materializaron.

La visión de que llegaría a desarrollarse lo que ahora se llama en inglés gene drive (impulsor genético) para alterar las poblaciones a voluntad, se planteó por primera vez en los años sesenta, [6] pero es hasta ahora, con las nuevas técnicas de edición genética, que puede convertirse en realidad, al menos en el laboratorio.

La innovación genética clave, que transformó a los impulsores genéticos de propuesta teórica en prototipo, es la técnica de ingeniería genética llamada CRISPR-Cas9. Este término hace referencia a constructos genéticos que contienen fragmentos de ARN obtenidos de bacterias. Consisten en una molécula guía, denominada ARN de una sola hebra y las "tijeras moleculares" Cas9. El sistema puede programarse para cortar el ADN en una ubicación específica y, por tanto, dirigirlo a secuencias específicas. Hasta ahora, CRISPR-Cas9 ha probado funcionar en todos los organismos que pueden transformarse con ADN extraño. El proceso es lo que algunos genetistas denominan *edición genética.*

El sistema CRISPR-Cas9 (CRISPR para abreviar) de edición genética se usa ahora para producir muchos tipos de transgénicos y no sólo impulsores genéticos. Sin embargo, el uso de CRISPR, para producir deliberadamente OIG, es la aplicación con mayores impactos potenciales para la agricultura. Recientemente en San Francisco, la coinventora de CRISPR, Jennifer Doudna hizo una predicción: "si tuviera que adivinar, el mayor impacto de CRISPR sobre el planeta será en la agricultura". [7]

El primer impulsor genético funcional producido con CRISPR fue desarrollado en 2014 por Ethan Bier y Valentino Gantz, genetistas de insectos de la Universidad de California en San Diego. [8] A partir de su trabajo con moscas de la fruta, diseñaron un impulsor genético operativo con CRISPR que tornó amarillas todas las moscas, y su descendencia, en un experimento. Bier y Gantz llamaron a esta técnica la "reacción mutagénica en cadena" (porque un cambio genético en la población inicia una reacción que afectaría todas las generaciones sucesivas). Asimismo, describieron grandiosamente su hazaña como "el amanecer de una nueva era de genética activa". A diferencia de los organismos de ingeniería genética diseñados en un laboratorio, la genética activa cambia el sitio principal de la transformación genética al pasar del laboratorio al ambiente natural, es decir, que el organismo parental efectivamente diseña genéticamente a su descendencia. En caso de funcionar, los organismos con impulsores genéticos serían eficaces, porque activamente cambiarían la genética de las poblaciones al ser liberados en el ambiente (esto es, reemplazando a una población con un genotipo por otra con un genotipo distinto).

Los OIG son solo parte de una nueva ola de tecnologías genéticas que activamente alteran e interfieren con los sistemas genéticos como se encuentran en los ecosistemas. Otro ejemplo es el rociador ARNi, por el que pequeñas hebras de ARN son rociadas en el campo para interferir con los sistemas genéticos en tiempo real. [9]

"Aunque los impulsores genéticos CRISPR-Cas9 se construyen en laboratorio, los OIG son diseñados para modificar genéticamente organismos [que viven] en la naturaleza. Los impulsores genéticos implican un cambio enorme: de la liberación de un producto [transgénico] terminado y probado, a la liberación, en los ecosistemas, de una herramienta *ajustable* para la modificación genética." [10]



3. La agroindustria se oculta tras el mamut lanudo

Desde su aparición en 2014, los impulsores genéticos se han convertido en la estrella de la industria biotecnológica. Después del desastre de relaciones públicas de los cultivos genéticamente modificados, la industria ha utilizado esta tecnología para relanzarse como socialmente útil. Los impulsores genéticos son muy importantes para atraer inversiones, pues existe la conciencia de que los flujos de fondos están disminuyendo por la baja en las ventas de químicos o transgénicos, mientras en el largo plazo los mercados de productos libres de transgénicos florecen y aumentan las querellas judiciales de los consumidores.[11]

Los financiamientos multimillonarios para el desarrollo de impulsores genéticos, provenientes de la fundación Bill & Melinda Gates, la Fundación de los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos, el Open Philantropy Institute, la Fundación Wellcome y la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada del Departamento de Defensa de Estados Unidos (DARPA), incluyen generosos recursos para hacer ejercicios de presentación al público, cabildeo y actividades de comunicación. Por ejemplo, una empresa clave en el cabildeo de la industria de los agronegocios, Emerging Ag, Inc., recibió 1.6 millones de dólares de la Fundación Bill & Melinda Gates para conducir actividades de cabildeo y comunicación para promover los impulsores genéticos y obtener influencia en las reuniones de la ONU, incluyendo la creación de una "Red de Divulgación de Impulsores Genéticos".[12] Sin embargo es notable que a pesar del nombre y el papel que desempeña esta empresa, su página electrónica y sus boletines en ningún momento mencionan alguna aplicación agrícola de los impulsores genéticos, y sólo se enfocan en usos para la "salud global" y la "conservación".[13] Emerging Ag también administra la World Farmers' Organisation, un bien conocido grupo de cabildeo de los agronegocios. De tal forma que a la opinión pública se le promete que los huevos de aves raras pueden ser protegidos reduciendo la población de roedores. En otros lugares, técnicas similares de edición genética se presentan como el mecanismo para regresar de la extinción al mamut lanudo.[14]

Esta omisión de los usos agrícolas en la promoción de los OIG no es accidental. Encaja perfectamente con las prioridades expresadas por los pioneros de los impulsores genéticos, como Kevin Esvelt del MIT. Esvelt es llamado el "inventor" de una de las dos patentes fundacionales clave de los impulsores genéticos. Más de una cuarta parte de su solicitud de patente de 38 páginas describe aplicaciones agrícolas. No obstante, en 2016, Esvelt declaró al Grupo ETC que "las aplicaciones agrícolas deberían esperar a las aplicaciones en salud pública y conservación, simplemente porque los beneficios no son tan claros para los ciudadanos ordinarios y no repetiremos el fracaso de los transgénicos, si yo puedo hacer algo al respecto". En la entrevista telefónica, Esvelt dijo que en su opinión, sería mala idea hablar públicamente acerca de los usos agrícolas mencionados en su patente (como, por ejemplo, la reversión de la resistencia a herbicidas en las malezas, explicada más adelante). Esvelt explicó animosamente que "no tocaría ese tema de ningún modo porque solo beneficiaría a Monsanto".[15]

El científico ha expresado que no se opone a que empresas privadas comercialicen impulsores genéticos para uso agrícola. En una entrevista posterior, para este informe, Esvelt afirmó que había hablado con Monsanto (ahora Bayer) y que ésta acordó "mantenerse alejada" del desarrollo de los impulsores genéticos hasta que ya se hubieran establecido como aplicaciones relacionadas con la salud y la conservación. Una posterior licencia para uso de la tecnología CRISPR, otorgada a Bayer-Monsanto por el Instituto Broad, que tiene vínculos con los jefes antiguo y actual de Esvelt, con la Universidad de Harvard y con el MIT, explícitamente excluye el uso comercial de CRISPR para aplicaciones agrícolas de los impulsores genéticos.[16]

Esvelt no está solo. Documentos obtenidos a partir de solicitudes de acceso a la información pública por una coalición de organizaciones de la sociedad civil (de la que el Grupo ETC formó parte), muestran que los desarrolladores de los impulsores genéticos se advierten unos a otros que sería contraproducente hablar de usos agrícolas.[17] En un correo electrónico fechado en julio de 2017, dirigido al equipo de investigación en impulsores genéticos GBIRd (Biocontrol Global de Roedores Invasivos), Dan Tompkins, de Landcare Research, de Nueva Zelanda, dijo prefería no hablar de la relación entre

los impulsores genéticos y la porque “muchos ven el uso de los impulsores genéticos en conservación como la puerta trasera para su adopción en usos agrícolas, lo cual puede exponer el enfoque actual de GBIRd a críticas inoportunas”.

Los desarrolladores de OIG pueden estarse advirtiendo a sí mismos y a las empresas de agronegocios de mantener un perfil bajo en relación con los impulsores genéticos, pero la agroindustria sigue involucrada activamente en el tema. Si Bayer-Monsanto está efectivamente “manteniéndose al margen” de los impulsores genéticos, sería útil saber lo que Tom Adams —vicepresidente de biotecnología global de Monsanto— dijo en una reunión a puerta cerrada con científicos militares en junio de 2017. Correos electrónicos obtenidos por medio de leyes de acceso a la información en Estados Unidos revelan que un sigiloso grupo de asesores militares, conocido como el Grupo JASON, elaboró en 2017 un estudio clasificado sobre impulsores genéticos, comisionado por el gobierno de Estados Unidos. El estudio, que permanece reservado, tenía como objetivo explorar “lo que sería realizable en los próximos tres a diez años, especialmente en relación con sus aplicaciones agrícolas”. [18] Los correos electrónicos muestran que el estudio elaborado por JASON fue presentado en una reunión de dos días a la que se convocó a doce investigadores en impulsores genéticos a quienes Tom Adams, de Bayer-Monsanto, ofreció una presentación confidencial sobre la ciencia de los cultivos y los impulsores genéticos. [19] Entre el pequeño grupo de expertos se encontraba Greg Gocal, científico en jefe de Cibus, empresa de biotecnología agrícola que vende canola editada genéticamente y otros cultivos.

No está claro cuál es el interés específico o las actividades para el desarrollo de impulsores genéticos de Cibus o de Bayer-Monsanto, pero al parecer no son los únicos actores corporativos interesados en este campo. Otras grandes empresas de los agronegocios, entre ellas Syngenta y Corteva Agroscience también han estado muy involucradas en las discusiones sobre la política estadounidense relativa a los impulsores genéticos. [20] A finales de 2017 se estableció en California Agragene, empresa emergente en el área de impulsores genéticos, dirigida por los mismos ejecutivos que la empresa de “genética activa” Synbal. Según la revista MIT Technology Review, Agragene —fundada por Ethan Bier y Valentino Gantz, de la Universidad de California en San Diego— “pretende alterar plantas e insectos” empleando impulsores genéticos. [21]

Recuadro 2: Importancia comercial de la opción “local”

Aunque todavía están confinados al laboratorio, los primeros OIG construidos mediante CRISPR-Cas9 se diseñaron para diseminarse amplia e indefinidamente, lo cual generó mucha alarma. Como respuesta, los promotores de los impulsores genéticos prometieron diseñar OIG “locales” cuya intención es propagarse solamente de manera limitada o dirigida, para responder a las preocupaciones sobre posibles daños ecológicos permanentes y perturbaciones económicas asociadas a ellos. El grupo de investigación sobre diseño de la evolución del MIT (Sculpting Evolution Research Group), liderado por Kevin Esvelt, trabaja en lo que llaman un “impulsor margarita” (Daisy drive) para resolver este problema. [22] En la Universidad de California en San Diego, el laboratorio dirigido por Omar Akbari trabaja en una alternativa no basada en CRISPR. [23] Sin embargo, hasta la fecha no existe reporte alguno de la existencia de impulsores “locales” funcionales o de impulsores dirigidos y no es posible saber si los OIG creados con o sin CRISPR podrían desempeñarse localmente.

Circunscribir el desempeño de los organismos con impulsores genéticos para volverlos más aceptables al público tendrá también el efecto de hacerlos más interesantes para los agentes comerciales y militares. Por ejemplo, impulsores genéticos que se esparcen para erradicar cierta plaga, maleza o, incluso, potenciar un cultivo alimentario. Si se propagara sin detenerse, en teoría su desarrollador podría sólo venderlo una vez, limitando así su valor económico. Sin embargo, si el impulsor genético se esparce sólo en un área o tiempo limitados, su desarrollador podría venderlo al mismo agricultor repetidamente, como ocurre hoy con las semillas y los agroquímicos.

Algunos economistas advirtieron en el *Journal of Responsible Innovation* que “las aplicaciones auto-limitantes de los impulsores genéticos podrían considerarse el prerrequisito para desarrollar y madurar la industria de los impulsores genéticos comerciales. Con límites espaciales y temporales podría abrirse un mercado de OIG que atendiera múltiples locaciones y múltiples liberaciones a lo largo del tiempo en la misma región”. [24]

Pero incluso los impulsores genéticos menos limitados tienen posibilidades comerciales. Según observan los autores mencionados, “productores agrícolas regionales podrían financiar privadamente (o por medio de fondos mixtos

público-privados) aplicaciones de impulsores genéticos que administraran cooperativas locales o instituciones sin fines de lucro, todas ellas en posible asociación con alguna agencia gubernamental o alguna empresa comercial". De hecho, este modelo ya está emergiendo.

Desde 2013, el Consejo Californiano de la Cereza (un grupo de productores) ha gastado aproximadamente un tercio de su presupuesto en financiar investigación y desarrollo de impulsores genéticos sintéticos en la mosca de la fruta de alas manchadas (*Drosophila suzukii*) y estableció una corporación de lucro para administrar el emplazamiento potencial de esa tecnología. El Consejo de Investigación en Cítricos de Estados Unidos también investiga el desarrollo de impulsores genéticos en los áfidos que afectan las cosechas de cítricos. En Panamá, la Comisión Panamá-Estados Unidos para la Erradicación y Prevención del Gusano Barrenador del Ganado es otra entidad regional de investigación, parcialmente gubernamental, financiada por Estados Unidos, que experimenta con insectos transgénicos y muestra interés en el enfoque del desarrollo de OIG para esta plaga común que afecta al ganado de crianza intensiva.

No sorprende que los principales agentes de los agronegocios estén interesados en la creación de OIG. Dado que esta tecnología es promovida como el siguiente paso lógico en la intensificación de la agricultura, los líderes de los agronegocios sienten que no pueden darse el lujo de ignorarla, puesto que, de otra manera, sus competidores obtendrían una ventaja en la carrera por dominar el mercado. A esta conclusión llegó un grupo de investigadores franceses liderados por Virginie Courtier-Orgogozo:

"El tiempo en que actúan los impulsores genéticos es adecuado para las estrategias dominantes de desarrollo económico de los agronegocios, que se concentran en el retorno de las inversiones en corto plazo y desprecian los aspectos de largo plazo. El actual sistema económico, basado en la productividad, los rendimientos, los monocultivos y el extractivismo combina perfectamente con el modo de operar de los impulsores genéticos. [25]

Courtier-Orgogozo y sus colegas sugieren que "en el futuro, los impulsores genéticos podrían convertirse en la técnica más utilizada para administrar agronegocios grandes o pequeños, editando el genoma de organismos que obstaculicen el crecimiento de la productividad". [26] Las agroindustrias más grandes se encuentran particularmente bien colocadas para ingresar a este campo, dado que la tecnología se originó en el ámbito de los genetistas de insectos, es decir, una comunidad de investigación con una larga y profunda afiliación con la industria de los plaguicidas. Dos insectos genéticamente modificados, el gusano rosa algodonero y la palomilla dorso de diamante están siendo probados comercialmente (por el momento sin impulsores genéticos) en los campos agrícolas estadounidenses. [27]

Figura 2: Ejemplos de las principales inversiones en impulsores genéticos, 2017

Agencia financiadora	Contraparte	Monto (dólares de Estados Unidos)
DARPA	Varios proyectos, incluyendo "Genes Seguros"	65-100 millones
Fundación Gates	Target Malaria	75 millones
Fundación Tata (Tata Trusts)	Centro para la Genética Activa	70 millones
Proyecto de Filantropía Abierta	Target Malaria	17.5 millones
Fundación Gates	Fundación de los Institutos Nacionales de Salud	9.43 millones
Fundación Gates	Corporación del Hospital General de Massachusetts	2.587 millones
Proyecto de Filantropía Abierta	NEPAD/Unión Africana	2.35 millones
Fundación Gates	Emerging Ag Inc	1.6 millones
Grupo Paul G Allen Frontiers	Centro para la Genética Activa	1.5 millones
Consejo Californiano de la Cereza	Univesidad de California en Riverside	500 mil hasta ahora (aproximados)
MaxMind	MIT y Universidad George Washington (para esquistosomiasis)	100 mil

Financiamiento para la investigación en impulsores genéticos según su valor.
Fuentes: Centro Africano para la Biodiversidad, Grupo ETC y Red del Tercer Mundo, www.synbiogovernance.org

Recuadro 3: Genomas como espectro ¿nuevo modelo de agronegocio?

Vender el "servicio" de liberación organismos con impulsores genéticos de alcance limitado o dirigido podría ser el modelo de negocio más obvio para su uso agrícola, pero también es posible hacer grandes negocios de la venta de impulsores genéticos "globales". Algunas de las primeras propuestas para el desarrollo de OIG apuntan hacia un modelo de negocio más radical, que se inspira en las aplicaciones de telefonía celular y del Internet 2.0, provenientes del mundo de las tecnologías de información. Frecuentemente, las empresas de software distribuyen sus aplicaciones gratis en línea o incorporadas en los sistemas operativos de amplia distribución, pero después requieren a los usuarios el pago de una cuota para desbloquear ciertas características o usos valiosos de aquellas. Del mismo modo, las empresas de biotecnología podrían liberar amplia y gratuitamente sus aplicaciones biotecnológicas como OIG para integrarlos en los genomas de los organismos silvestres, pero diseñados de tal manera que, para poder aprovechar el OIG, tendría que pagarse un co-producto de propiedad intelectual que desbloqueara sus atributos.

Dos ejemplos sirven para ilustrar este enfoque: Esvelt y otros han propuesto que impulsores genéticos "sensibilizantes" podrían introducirse y posteriormente liberarse en plagas que harían a esas especies susceptibles a un compuesto químico particular, (herbicida o plaguicida). Por ejemplo, se podría recuperar la sensibilidad del amaranto (*Amaranthus palmeri*) al RoundUp o glifosato de Bayer-Monsanto, o a una nueva sustancia química patentada. Este enfoque permitiría al fabricante del compuesto químico venderlo como un complemento perfecto para la maleza en cuestión. Y es que cuando las malezas no son completamente erradicadas, pueden evolucionar hasta volverse resistentes al herbicida. Mientras que Bayer-Monsanto producía antes sus semillas "RoundUp Ready", (resistentes al glifosato) para elevar las ventas de esta sustancia, ahora se busca que la maleza misma se apreste a marchitarse en respuesta al RoundUp. En una situación así, el impulsor genético es sólo una solución temporal y tendría que ser aplicado repetidamente. Una estrategia como esta podría ser parte del modelo de negocio de empresas como Bayer-Monsanto.

Un segundo ejemplo, dramático, aunque especulativo, es el de la patente asociada con Elwha LLC (ver el inciso 4f, abajo), que propone la liberación de un gen es decir, activado por la luz mediante un impulsor genético en todas las abejas o en ciertas especies consideradas plaga para que se vuelvan susceptibles a frecuencias particulares de luz. En un escenario posible para los impulsores genéticos, los agricultores comprarían una fuente de luz de propiedad intelectual para atraer a esas abejas con impulsor genético a sus campos para polinizar sus cultivos o, alternativamente, repeler las plagas equipadas con OIG. De este modo, a medida que el impulsor genético se propague entre las poblaciones de insectos silvestres, más lucrativo será el negocio para quienes vendan la fuente de luz. [28]

En efecto, propuestas como estas tratarían los genomas de los organismos silvestres —incluyendo las malezas y los insectos— como se trata al espectro electromagnético en la industria de la radiodifusión, es decir, como un medio de difusión gratuito a ser explotado por las empresas comerciales y al servicio de sus estrategias de negocios. En este escenario, los desarrolladores de impulsores genéticos que puedan alojar sus "aplicaciones" genéticas dentro de este "espectro genómico" de especies silvestres a través de impulsores genéticos globales, podrían tener ventaja para vender sus compuestos, moléculas, moléculas genéticas y fuentes de luz en el mercado agrícola. De aplicarse este modelo de *radiodifusión*, sería posible prever la competencia entre los desarrolladores de impulsores genéticos por el espacio en los genomas de diferentes especies silvestres para colocar en ellas sus "aplicaciones" especulativas con fines de lucro. Podría entonces volverse necesario introducir esquemas de regulación y de licencia del "espectro genómico", como ocurre con las concesiones que otorgan las autoridades de telecomunicaciones para distribuir el espectro público de frecuencias electromagnéticas, o bien, como la Corporación de Internet para la Asignación de Nombres y Números (ICANN) regula el otorgamiento de dominios en Internet. Las implicaciones ecológicas y de bioseguridad que tendría el saturar los genomas de organismos silvestres con múltiples "aplicaciones" de impulsores genéticos competidores serían alarmantes.

"Dada la falta de una modelación confiable, podemos asegurar que el uso de impulsores genéticos generados con CRISPR conduciría a una cacofonía ecológica: cada grupo de interés en la industria de los agronegocios editaría el genoma de aquello a lo que cada uno llama plagas, propagando diversas mutaciones a través del impulsor genético y ocasionando efectos de largo plazo en las dinámicas de los ecosistemas y en las poblaciones humanas que dependen de ellos". [29]

4. El futuro agrícola que promueven los impulsores genéticos

Los científicos que promueven los impulsores genéticos están comenzando a explorar diversas aplicaciones relevantes para la agricultura. En la siguiente sección examinamos cómo los OIG se conciben como solución a problemas de *malezas y plagas* y describimos nueve ejemplos que ilustran la utilización de impulsores genéticos aplicados en la agricultura.

a) Malezas y plagas

"¿No sería fantástico si no necesitáramos rociar herbicidas y plaguicidas en general, sino más bien, que pudiéramos rediseñar las plagas para suprimir su población local, o mejor aún, adecuarlas para que simplemente les desagrade el sabor del cultivo que atcan?" [30]

La agricultura industrial tiene una larga historia de búsqueda de productos que supriman o eliminen "plagas", "malezas" y otros organismos que alteran la eficiencia de la producción. Genetistas de insectos han comenzado a investigar si insectos con impulsores genéticos (Recuadro 4) podrían transportar genes de auto-extinción, para que plagas agrícolas o de otro tipo puedan suprimirse o erradicarse. [31]

Las opciones de impulsores genéticos para erradicar insectos están más avanzadas porque son genetistas de insectos quienes han hecho la mayor parte del trabajo para desarrollar impulsores genéticos en plantas. Un científico que estudia las malezas —Patrick Tranel, de la Universidad de Illinois— declaró a *The Western Producer* que está interesado en introducir impulsores genéticos en las hierbas dioicas (es decir, plantas en las que las partes femeninas y masculinas ocurren en diferentes individuos). [32] "Podríamos (hipotéticamente) controlar la ocurrencia de plantas masculinas para volverlas el rasgo dominante en su especie. Es decir, liberar algunas plantas masculinas modificadas para que toda su progenie sea masculina". Tranel imagina que después de unas cuantas generaciones sí sería posible eliminar las hierbas femeninas hasta llevar a la población a su extinción, pero se muestra preocupado por la aplicación de genes de auto-extinción en especies vegetales: "quizá podría alegarse en favor de extinguir un mosquito, pero no estoy seguro de que podríamos justificar la extinción de cierta maleza", y enfatiza que muchas aves se alimentan de semillas de *malezas*, las cuales, además, son parte del ecosistema. (ver Recuadro 5)

La solicitud de patente fundacional sobre *impulsores genéticos de ARN guiado* presentada por Esvelt enlista más de 180 especies de hierbas (consideradas malezas) que podrían ser atacadas con impulsores genéticos producidos con CRISPR, así como 160 especies de insectos, moluscos y nematodos considerados plagas importantes en la agricultura industrial. [33] Una solicitud de patente, igualmente fundacional, presentada por Ethan Bier y Valentino Gantz enlista más de 600 plagas agrícolas como objetivos. [34] Estas solicitudes de patente demuestran claramente cómo los usos agrícolas están en el centro de los planes de quienes desarrollan impulsores genéticos.

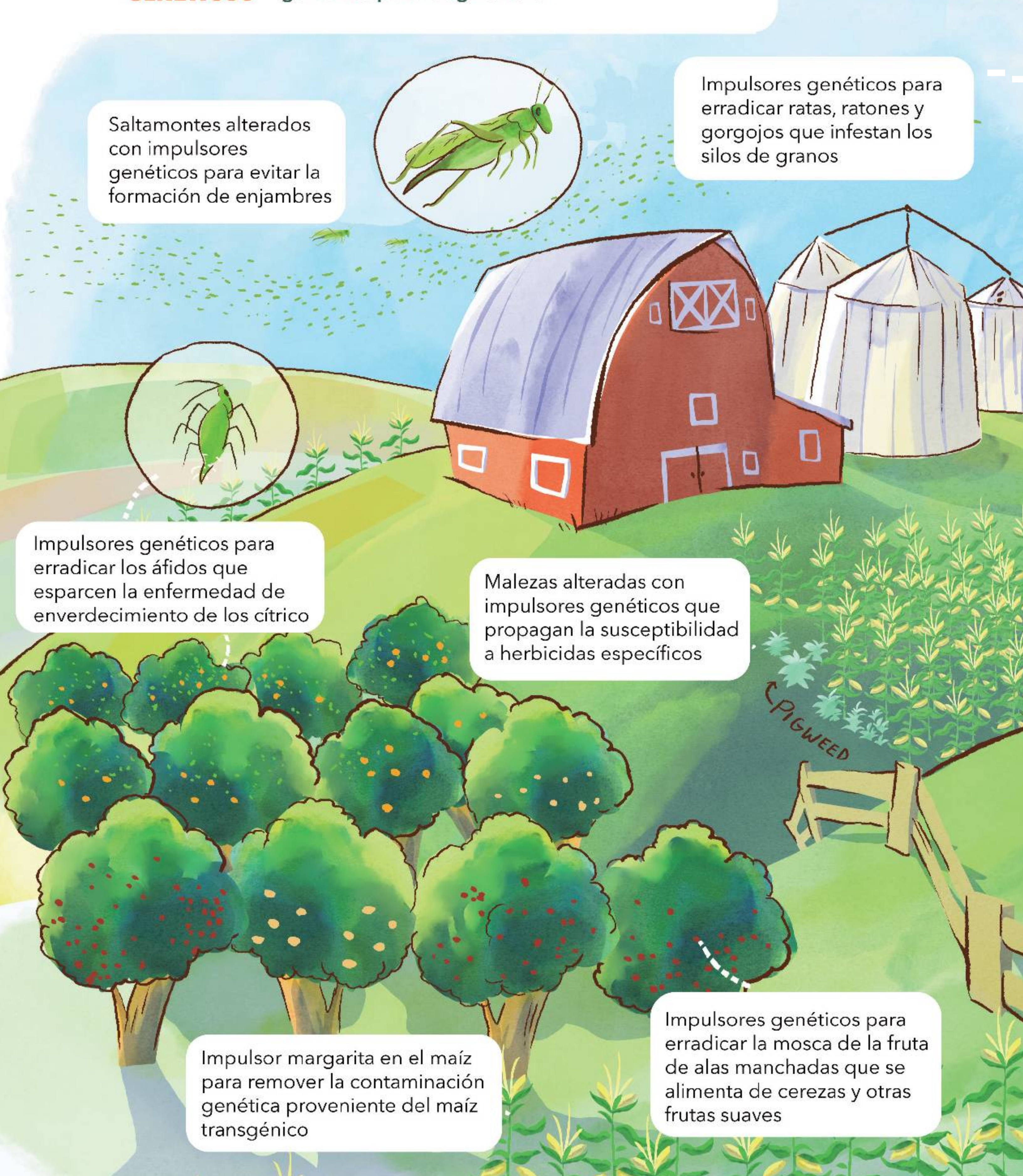
Recuadro 4: Genes de auto-extinción

Si los OIG "sirven" una vez liberados, provocarán una reacción en cadena potencialmente imparable. La liberación de un OIG con genes dirigidos a la erradicación de una especie particular podría conducir a la eventual extinción de esa especie en todo el mundo. Utilizamos la expresión "genes de auto-extinción" para resaltar la naturaleza potencialmente incontrolable de este proceso. Es importante reconocer que la extinción podría no ser el resultado final ya que podría surgir un fenómeno llamado "resistencia a impulsores genéticos" que anulara el desempeño los pretendidos exterminadores (ver Recuadro 6).

Cada uno de los nueve organismos presentados en este informe (Figura 3) viene acompañado de un indicador que muestra qué tanto ha progresado la tecnología hacia su liberación en campo abierto.

CULTIVANDO CON IMPULSORES GENÉTICOS

Esta gráfica ilustra algunas de las áreas en las que se considera el uso o desarrollo de los impulsores genéticos para la agricultura



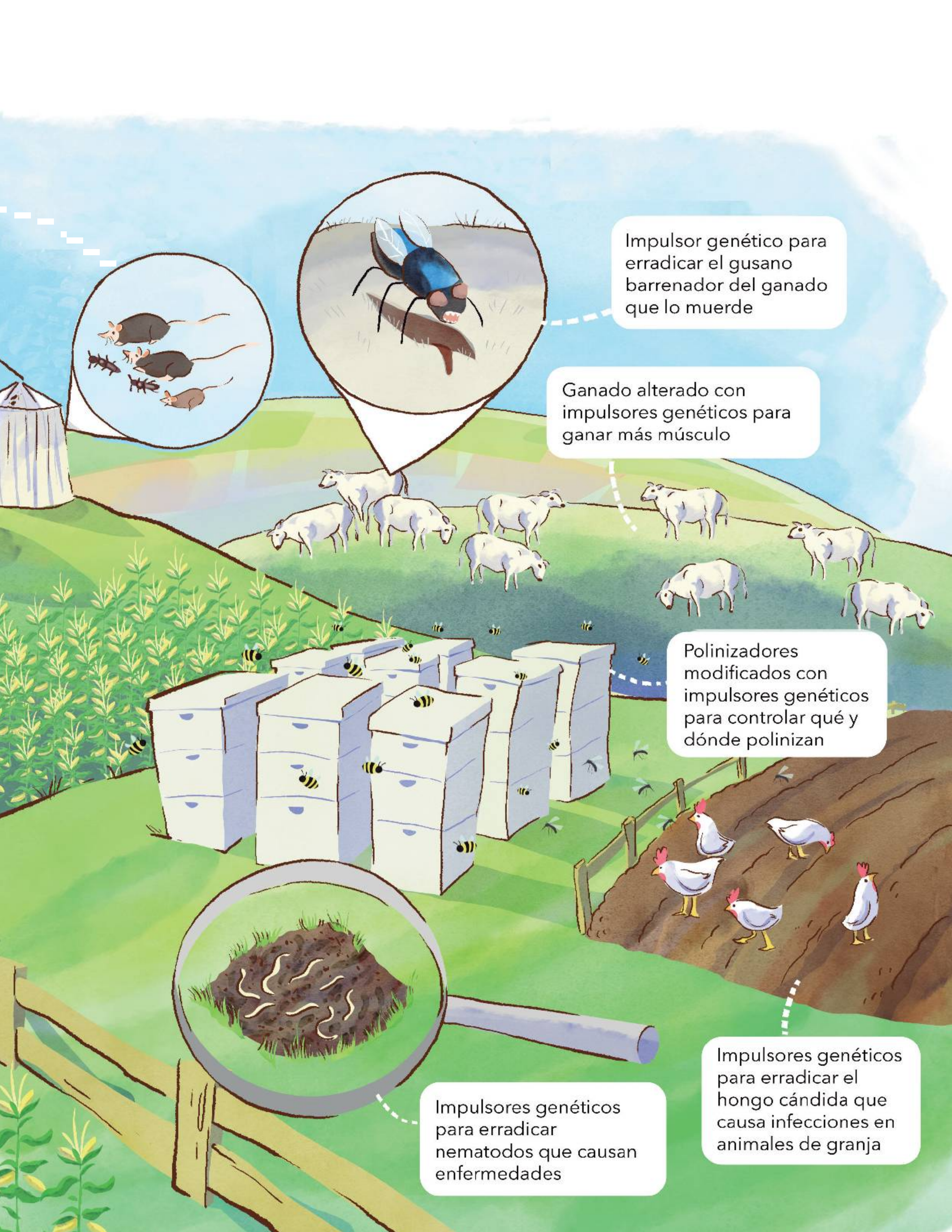
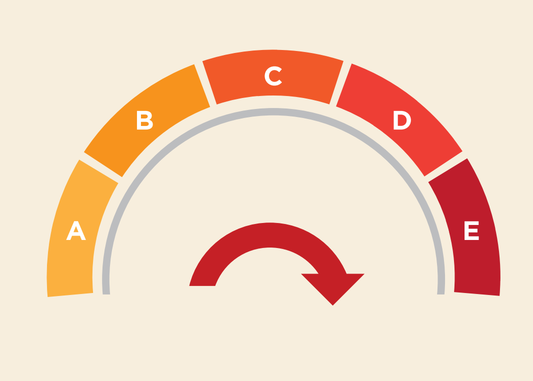

Impulsor genético para erradicar el gusano barrenador del ganado que lo muerde
Ganado alterado con impulsores genéticos para ganar más músculo
Polinizadores modificados con impulsores genéticos para controlar qué y dónde polinizan
Impulsores genéticos para erradicar el hongo cándida que causa infecciones en animales de granja
Impulsores genéticos para erradicar nematodos que causan enfermedades

Figura 3: indicador de factibilidad de los impulsores genéticos

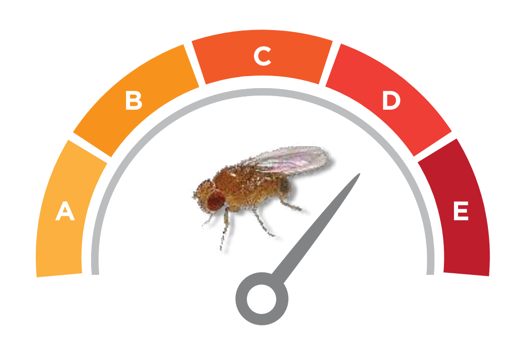
Indica qué tan cerca está un OIG de ser liberado a los agroecosistemas, con base en información de dominio público.



Clave:

- **A** **Modelo teórico:** se ha publicado un modelo para el uso de impulsores genéticos en una o más especies.
- **B** **Financiamiento y/o patente:** financiamiento obtenido o patente publicada.
- **C** **Inicio de pruebas de laboratorio:** han comenzado los experimentos para probar el impulsor genético en laboratorio.
- **D** **Conclusión de las pruebas de laboratorio:** se han completado los experimentos para probar los impulsores genéticos en el laboratorio.
- **E** **Liberación:** se ha liberado el organismo impulsor genético en los agroecosistemas.

I. Mosca de la fruta – Drosophila suzukii



(Género: Drosophila, ceratitis y otras)

Científicos de la Universidad de California en San Diego, liderados por la analista de datos Anna Buchman y Omar Akbari, profesor asistente de entomología, han comenzado —con un presupuesto anual de 100 mil dólares proporcionado por el Consejo Californiano de la Cereza desde 2013— el proceso para transformar una plaga invasiva, la mosca de la fruta de alas manchadas (*Drosophila suzukii*) en un OIG. Los investigadores lo consideran un nuevo método para manipular las poblaciones de estas plagas invasivas, las cuales, según Buchman "de entrada, no pertenecen aquí". [35]

Drosophila suzukii es una plaga que afecta la productividad de las plantaciones de durazno, cereza y ciruela en regiones agroindustriales del este asiático, América del Norte y Europa. Se ha convertido en una nueva especie principal de plaga en América del Norte y Europa.

Esta es la primera vez que una especie de plaga relevante para el comercio ha comenzado a ser modificada de este modo. Akbari afirma que los OIG son una herramienta de precisión que permitirá eliminar una especie entre miles de otras especies. [36]

Más recientemente, se dio un paso adicional rumbo al diseño de un impulsor genético en otro género de mosca de la fruta, la mosca mediterránea de la fruta (*Ceratitis capitata*), una especie nativa del África subsahariana que se ha propagado a muchas partes del mundo, incluyendo Australasia y Norte y Sudamérica. Ángela Meccariello y sus colegas reportaron la adaptación exitosa de la alteración genética mediante CRISPR-Cas9 en la mosca mediterránea de la fruta, lo cual contribuye al "progreso en el desarrollo de novedosas estrategias genéticas para el control de plagas de insectos, por medio de impulsores genéticos". [37]

A partir de un trabajo previo con los gorgojos castaños de la harina y la *Drosophila melanogaster,* el laboratorio dirigido por Akbari afirma haber logrado una variación del impulsor genético que constituye un paso adelante hacia la reducción del riesgo de liberación de los OIG en el

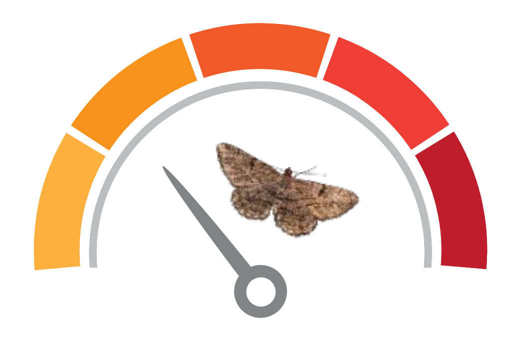
ambiente y el consecuente riesgo de extinciones no controladas.[38] Akbari ha producido una variedad de *Drosophila suzukii* que contiene un impulsor genético denominado MEDEA (Detención del Efecto Embrionario Materno Dominante).[39] Un OIG equipado con MEDEA podría, en teoría, requerir de un número grande de insectos para iniciar la reacción en cadena de auto-extinción, por lo que es menos proclive a provocar la extinción de una especie en caso de una liberación accidental. Las afirmaciones de Akbari respecto a MEDEA no han sido repetidas para la *Drosophila suzukii* en ningún otro laboratorio, ni tampoco se ha mostrado que un OIG que contenga MEDEA en la *Drosophila suzukii* se comporte de la manera esperada al combinarse con un gen de extinción, incluso en el laboratorio.

Akbari ha solicitado una patente en Estados Unidos que cubre el uso de MEDEA no sólo en la *Drosophila suzukii*, sino también en la mosca mexicana de la fruta (*Anastrepha ludens*), la mosca caribeña de la fruta (*Anastrepha suspense*), la mosca del olivo (*Bactrocera oleae, Dacus oleae*), la mosca de la ciruela (Anastrepha obliqua), el mosquito de la fiebre amarilla (*Aedes aegypti)* y el mosquito *Anopheles gambiae*, uno de los mayores vectores de la malaria en el África subsahariana.[40]

Un artículo de reciente publicación empleó modelación matemática para predecir cómo podría confinarse o limitarse teóricamente un método similar de auto-extinción.[41] Sin embargo, en esta etapa no existe evidencia de que tales mecanismos podrían prevenir una reacción en cadena de extinción fuera de laboratorio.

Existen razones fundadas para pensar que un OIG podría transmitir los genes de auto-extinción (Recuadro 4) a especies relacionadas.[42] Los límites de las especies son desconocidos o inciertos para muchas especies y la cruza entre especies estrechamente relacionadas (también conocidas como subespecies) ha sido reportada en algunos insectos.[43, 44] Tal cruza entre especies podría no conducir a ningún efecto negativo en organismos sin impulsores genéticos. Sin embargo, las propiedades auto-replicantes de los OIG y la potencialmente ilimitada propagación de los genes de auto-extinción en el tiempo y el espacio eleva su potencial para llevar a la extinción a especies de moscas relacionadas, lo que podría tener consecuencias desastrosas para los ecosistemas y las poblaciones humanas que dependen de ellas.[45, 46]

II. Polillas



En estado larvario (a menudo llamados gusanos), las polillas son plagas de muchas plantas cultivadas y de cultivos alimentarios.

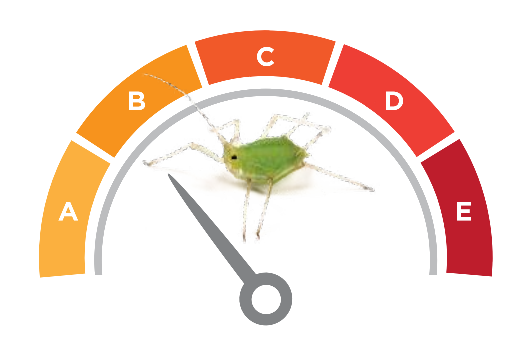
Fotini Koutroumpa y otros investigadores de los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INRA), de Francia, demostraron que el sistema CRISPR-Cas9 es altamente eficiente para la edición del genoma del gusano africano de la hoja del algodón (*Spodoptera littoralis*). Esta especie fue catalogada como plaga de cuarentena por la Organización Europea y Mediterránea para la Protección Vegetal. Esta especie también fue incluida en la lista de especies altamente invasivas en Estados Unidos.

Koutroumpa y sus colegas creen que han dado un paso rumbo al desarrollo de impulsores genéticos para esta especie.[47] Una vez que este proceso tenga éxito en una especie de polilla, será más fácil adaptar la tecnología para otras especies de polilla, como la polilla gitana (*Lymantria dispar*), cuyas larvas consumen las hojas de más de 500 especies de árboles, arbustos y plantas. El sistema olfativo de esta especie ya fue incluido en la lista para tratamiento con impulsores genéticos por el laboratorio de Kevin Esvelt.[48] Otro equipo de investigación en la Universidad de California en Irvine propone el empleo de impulsores genéticos para el control del gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*).[49]

La polilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) es también una plaga de los cultivos que afecta al brócoli, la coliflor y las coles de Bruselas. Esta polilla es responsable de daños causados a los cultivos por más de 5 mil millones de dólares anuales, sólo en Estados Unidos, y ya ha sido propuesta como una de las candidatas principales para ser convertida en OIG.[50] Sin embargo, sin una comprensión más profunda de la relación entre los insectos OIG y las especies naturales de

estas plagas, parecería imposible lograr limitar su presencia a un solo lugar. Algunos investigadores han planteado ya su preocupación acerca de la posible contaminación relacionada con la liberación de insectos de ingeniería genética como estrategia de control de plagas.[51] El uso potencial de OIG genera preocupaciones aún más serias relacionadas con el riesgo de contaminación transfronteriza de los sistemas agrícolas en todo el mundo.[52]

III. Áfidos



Psílido asiático de los cítricos (Diaphorina citri)

Los áfidos chupadores de savia son una importante plaga de los cítricos, puesto que son uno de los dos vectores confirmados de la enfermedad de Huanglongbing (HLB) (enfermedad del dragón amarillo) o de enverdecimiento de los cítricos. Esta enfermedad se distribuye ampliamente en el sureste de Asia y se ha extendido a otras regiones de cultivo de cítricos. En 2018, el Consejo para la Investigación en Cítricos de Estados Unidos informó que trabaja en la introducción de sistemas de impulsores genéticos en el psílido asiático de los cítricos, que lo volverían incapaz de transmitir la enfermedad de enverdecimiento a los cítricos.[53]

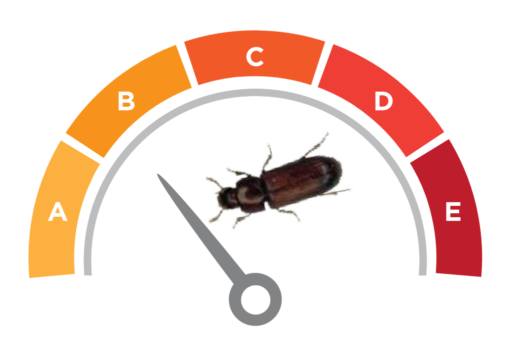
IV. Saltamontes



Saltamontes marrón del arroz (Nilaparvata lugens)

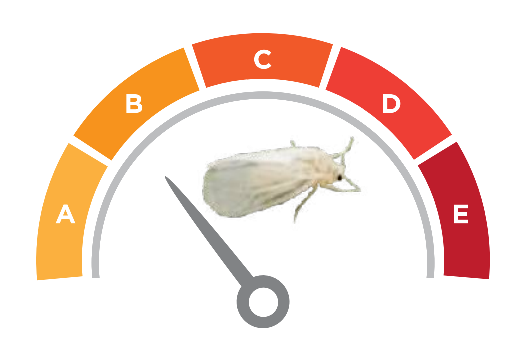
Esta es una las principales plagas del arroz en todo el mundo, por el daño que causa al alimentarse de las plantas y transmitirles virus. Fue identificada por Maxwell Scott y sus colegas como un blanco principal para el uso de impulsores genéticos.[54]

V. Gorgojo castaño de la harina



Scott et al., propusieron el desarrollo de OIG para este escarabajo. El gorgojo es una plaga global de los granos y cereales almacenados (especialmente propenso a producir infestaciones grandes en países pobres) y posee un sistema genético adecuado para transformarlo en OIG.[55]

VI. Mosca blanca

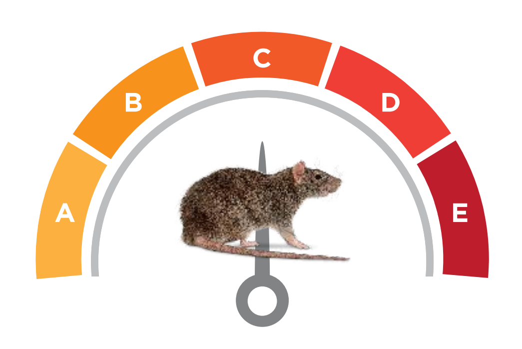


Mosca blanca de ala plateada (Bemisia tabaci)

Esta mosca fue propuesta por Scott et al., como una "situación ideal para el desarrollo y prueba de los sistemas impulsores genéticos en general" y como "un sistema modelo para explorar estas tecnologías de modo significativo".[56] Los autores citan la contención de los OIG como una preocupación probable en las primeras etapas de desarrollo. Las larvas de esta mosca son plagas particularmente devastadoras porque se alimentan de más de 500 especies de plantas. Se alojan frecuentemente en cultivos agrícolas

como el tomate, la calabaza, brócoli, coliflor, col, melón, algodón, zanahoria, camote o boniato y pepino, así como en plantas ornamentales como la nochebuena, el árbol de Júpiter, la rosa, la lantana y la azucena. Pueden causar daños específicos a ciertas plantas huésped, como el blanqueamiento de las hojas de la calabaza, la maduración irregular de los tomates, tallo blanco en el brócoli y la coliflor, el tallo blanco en la nochebuena y el adelgazamiento de la raíz en la zanahoria.

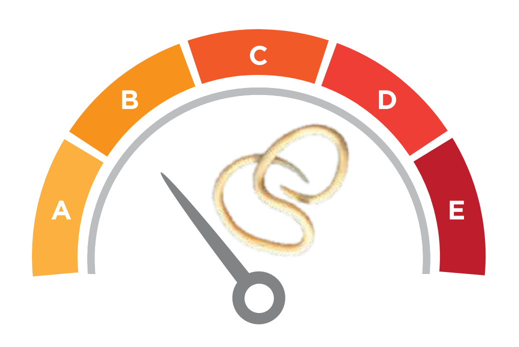
VII. Roedores



Las ratas y ratones ocasionan, cada año, miles de millones de dólares en daños a los cultivos, los granos almacenados y a la maquinaria agrícola. También pueden ser portadores de hasta 60 enfermedades distintas que se propagan entre el ganado y los seres humanos.[57] Sólo en Estados Unidos, se estima que las ratas cuestan a la economía más de 27 mil millones de dólares anuales. Como tales, son un blanco prominente de los esfuerzos de la industria de los agronegocios para su erradicación por medio de impulsores genéticos. Dos equipos de investigación se concentran en ratas y ratones mediante genes de auto-extinción: un equipo británico, en el Instituto Roslin, desarrolla actualmente un OIG que denomina Triturador X, porque destruye los cromosomas X, previniendo así el nacimiento de ratas hembras. Los investigadores principales, MacFarlane y Whitelaw justifican su trabajo para la erradicación de los roedores mediante impulsores genéticos aduciendo beneficios para la agricultura.[58] Un segundo proyecto, denominado GBIRd (Biocontrol Global de Roedores Invasivos), financiado por la Agencia Militar de Proyectos de Investigación Avanzada del gobierno de Estados Unidos (DARPA), destaca sus esfuerzos para liberar impulsores genéticos en ecosistemas isleños como aplicación para la conservación, pero una serie de correos electrónicos internos del consorcio de investigación (obtenidos por medio de solicitudes de acceso a la información pública) muestran que algunos integrantes del equipo de investigación ven esta tecnología como apropiada para usarse en unidades productivas agrícolas en tierra firme.[59]

Recientemente se informó del primer ratón portador de impulsores genéticos mediante CRISPR-Cas9 que alteró exitosamente la pigmentación del roedor.[60]

VII. Nematodos



Los nematodos son gusanos cilíndricos microscópicos no segmentados que constituyen una de las formas de vida más numerosas existentes en la Tierra. Aunque muchas especies de nematodos no son parasíticos y desempeñan un papel importante en el reciclamiento de la materia orgánica, otros son parásitos de plantas o animales. Los nematodos parásitos viven en las raíces y otras partes de las plantas, causando enfermedades. Se consideran una amenaza a la seguridad alimentaria y ocasionan pérdidas anuales por 80 mil millones de dólares en todo el mundo. Los científicos del laboratorio de Kevin Esvelt trabajan para desarrollar impulsores genéticos en la variedad *Caenorhabditis elegans*, muy utilizada para pruebas por genetistas en todo el mundo, es el primer organismo multicelular del que se secuenció el genoma completo.[61] El éxito con el esta variedad de lombriz facilitaría la transferencia de la tecnología a otras variedades de nematodos. Una solicitud de patente de Bier y Gantz nombra 66 nematodos patogénicos para las plantas contra los cuales podrían emplearse impulsores genéticos.[62] Sin embargo, los nematodos parasíticos que atacan a insectos que a su vez son plagas, también son comercialmente valiosos para la agricultura. Quienes desarrollaron la generación previa de ingeniería genética han advertido que esta característica en los nematodos es deseable en los campos, cuestión que podría ser resuelta también con la tecnología de impulsores genéticos.[63]

IX. Candida albicans



Aunque se encuentran en un estado de desarrollo temprano, algunos científicos ven a los nematodos OIG como ayudas potenciales para la eliminación de patógenos micóticos presentes en cultivos vegetales y el ganado. El laboratorio de Rebecca Shapiro en la Universidad de Columbia emplea un impulsor genético de base CRISPR, pero modificado para facilitar la creación rápida de eliminadores genéticos en el hongo *Candida albicans*. [64] Este tipo de levadura es la causa más común de infección fúngica, que ocurre no sólo en seres humanos, sino también en animales de granja como los cerdos, vacas y pollos.

b) Rediseñar plagas para que se alejen de los cultivos

Otro de los enfoques propuestos para el manejo de plagas mediante impulsores genéticos consiste en alterar su comportamiento para que se sientan repelidas por cultivos y ganado de importancia comercial. En esta propuesta, un impulsor genético sería liberado dentro de la población de plagas para cambiar su respuesta olfativa al hedor de los cultivos o de ciertos animales, o bien, alguna otra señal química.

En 2017, el profesor Andrew Nuss, del Departamento de Agricultura, Nutrición y Ciencia Veterinaria de la Universidad de Nevada en Reno, Estados Unidos, recibió medio millón de dólares de DARPA para desarrollar técnicas —incluida la liberación de organismos con impulsores genéticos— para modificar los receptores olfativos en mosquitos. [65] Nuss informó en una reunión cerrada sobre impulsores genéticos organizada por DARPA que el objetivo es lograr que los mosquitos sean atraídos por olores de animales distintos a los seres humanos. [66] El coinvestigador de Nuss trabaja con moscas de la fruta y el mismo enfoque podría utilizarse para dirigir a las plagas, incluyendo a los insectos, lejos de los cultivos y el ganado. Un enfoque similar consiste en liberar OIG para alterar el comportamiento que lleva a los insectos a formar enjambres. En 2016, un grupo de científicos en Beijing informó que había usado CRISPR para alterar los genes de percepción de olores, que son los responsables del instinto de formar enjambres en las langostas. [67] Se ha sugerido que los impulsores genéticos podrían usarse para propagar esta edición genética en los saltamontes y así proteger cultivos del daño de las langostas. erradicar insectos están más avanzadas porque son genetistas de insectos quienes han hecho la mayor parte del trabajo para desarrollar impulsores genéticos en plantas. Un científico que estudia las malezas —Patrick Tranel, de la Universidad de Illinois— declaró a *The Western Producer* que está interesado en introducir impulsores genéticos en las hierbas dioicas (es decir, plantas en las que las partes femeninas y masculinas ocurren en diferentes individuos). [32] "Podríamos (hipotéticamente) controlar la ocurrencia de plantas masculinas para volverlas el rasgo dominante en su especie. Es decir, liberar algunas plantas masculinas modificadas para que toda su progenie sea masculina". Tranel imagina que después de unas cuantas generaciones sí sería posible eliminar las hierbas femeninas hasta llevar a la población a su extinción, pero se muestra preocupado por la aplicación de genes de auto-extinción en especies

c) Resistencia a herbicidas

Una propuesta particularmente apetecible para el uso agrícola de los OIG es emplearlos para superar la resistencia a herbicidas en especies comunes de hierbas o pastos. La resistencia a herbicidas surge cuando las hierbas evolucionan selectivamente para soportar dosis cada vez mayores de herbicidas químicos, después de una exposición repetida a ellos. Esta resistencia en las parcelas comerciales es un dolor de cabeza mayúsculo para la agroindustria. Según Bayer-Monsanto, las hierbas y pastos resistentes a herbicidas en Australia incrementan 27% los costos de producción por cada acre, debido al incremento de los costos por manejo de malezas

y por la pérdida de rendimientos productivos, mientras que los productores estadounidenses pagan hasta 150 dólares por acre de terreno que debe ser desyerbado a mano en ausencia de mejores opciones para el control de las malezas.[68]

El mayor reto en relación con la resistencia a herbicidas es el desarrollo de una resistencia generalizada al Roundup (glifosato), el conocido herbicida fabricado por Bayer-Monsanto, que se propaga en hierbas como el amaranto (*Amaranthus palmeri*).

En un informe emblemático sobre los impulsores genéticos, elaborado por la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina (NASEM) de Estados Unidos, el único caso agrícola examinado fue una propuesta para diseminar impulsores genéticos en el amaranto y así volver a hacerlo susceptible al herbicida Roundup.[69] Dado que la base molecular de la resistencia al Roundup es plenamente comprendida (se la usa en el frijol de soya resistente a Roundup de Bayer-Monsanto), un "impulsor sensibilizante" podría diseñarse para alterar ese mecanismo. Como informó el reporte de la NASEM, "si el impulsor genético tiene éxito y se restablece la susceptibilidad, el glifosato podría usarse de nuevo como herramienta para limitar las poblaciones de plantas de amaranto".[70] El informe advirtió que la alteración de la especie *Amaranthus* conlleva el riesgo de que las variedades de amarantos con impulsores genéticos desplacen a las variedades latinoamericanas, empleadas como alimento, afectando profundamente la seguridad alimentaria.

En última instancia, no se trata sólo del Roundup. En teoría, los impulsores genéticos pueden emplearse para adaptar las especies de hierbas al efecto de muchos venenos agrícolas. La solicitud de patente fundacional de Esvelt sobre impulsores genéticos guiados por ARN enlista 167 herbicidas comunes, incluyendo sus nombres comerciales y sus productores, para los que las plantas podrían hacerse susceptibles por medio de un impulsor genético.

d) Activación de agroquímicos nuevos (y viejos)

La propagación de impulsores genéticos "sensibilizantes" en hierbas o plagas podría ser también una manera de crear nuevos usos para una amplia gama de agroquímicos patentados, o bien, para crear nuevos mercados. En una reseña sobre los usos de los impulsores genéticos, cuatro miembros del grupo de investigación sobre diseño de la evolución del MIT, proponen esta estrategia podría abrir nuevos caminos para la agricultura sustentable no tóxica: los "impulsores genéticos sensibilizantes" podrían conferir vulnerabilidad a compuestos que tal vez sean inertes y completamente inocuos para los seres humanos y el ambiente. Esta estrategia permitiría la remoción local de las plagas sin afectar a otras especies o poblaciones en otros lugares.[71] Mientras que los investigadores del MIT no especifiquen qué compuestos inocuos tienen en mente, sus afirmaciones deben evaluarse rigurosamente por los defensores de la agricultura orgánica y sustentable.

Aunque la producción orgánica emplea cierto número de compuestos no tóxicos, la noción de utilizar compuestos externos proviene del paradigma de la agricultura industrial, más que de la agroecología. No existe ninguna razón para que las empresas de biotecnología adapten las hierbas para hacerlas vulnerables a compuestos de baja toxicidad. Puesto que tales empresas tienen comprometidos miles de millones de dólares en instalaciones para la fabricación de sustancias agroquímicas, tiene más sentido, desde una perspectiva económica, manipular las malezas y las plagas para elevar su susceptibilidad a las toxinas de marca registrada ya existentes, cuyos mecanismos de acción se conocen plenamente.

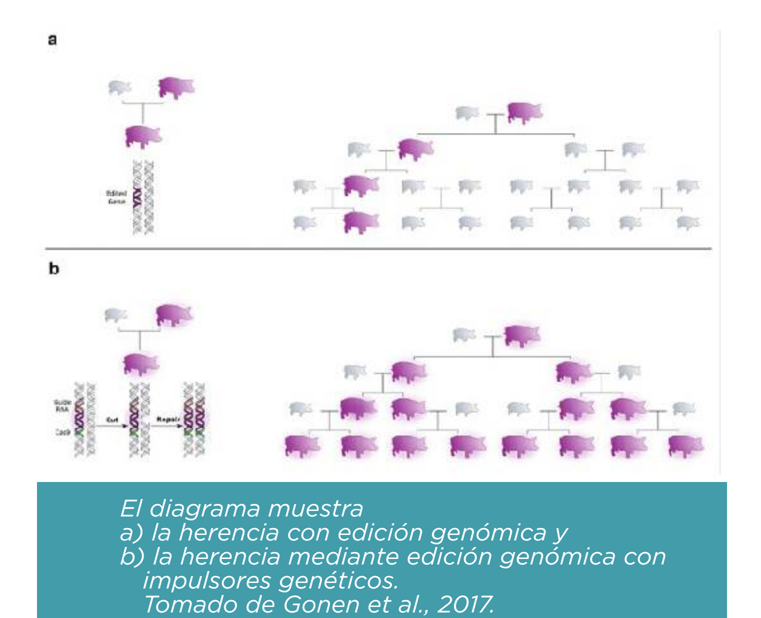
e) Acelerar la creación y/o propagación de rasgos transgénicos

Hasta la fecha, las discusiones públicas sobre impulsores genéticos se han centrado en su uso como herramienta para diseminar genes de diseño entre plagas, malezas y especies invasoras. Sin embargo, el uso principal de los impulsores genéticos podría ser como herramienta para crianza de ganado y fitomejoramiento. Dado que los impulsores genéticos están diseñados para asegurar que un rasgo se mueva eficientemente de una generación a la siguiente, tanto los obtentores de especies vegetales como animales podrían usar la tecnología para asegurarse que

los rasgos de su elección sean transmitidos a la descendencia, o bien, para que los rasgos entren fácilmente a la líneas genéticas para mejoramiento de animales y semillas.

Los investigadores del ganado del Instituto Roslin, del Reino Unido, examinaron cómo los impulsores genéticos podrían usarse para acelerar la "ganancia genética" (la mejora en el desempeño) en la crianza de ganado. En un artículo reciente, que usa cerdos como ejemplo, (Figuras 4a y 4b), Serap Gonen y sus colegas concluyeron que "los impulsores genéticos podrían emplearse para aumentar la velocidad a la que las variantes de genes editados se propagan en poblaciones de ganado". [72] Los autores del artículo recomiendan los impulsores genéticos como herramienta eficiente para la crianza y la diseminación de alteraciones generadas con CRISPR.

Figura 4a y 4b: Impulsores genéticos en el ganado



El diagrama muestra
a) la herencia con edición genómica y
b) la herencia mediante edición genómica con impulsores genéticos.
Tomado de Gonen et al., 2017.

También en los cultivos, los impulsores genéticos podrían ser vistos como medios para acelerar la introducción de transgenes. Actualmente, las empresas de biotecnología deben llevar a cabo una complicada serie de pruebas de multiplicación de semillas para producir un acervo más grande de semillas transgénicas. Este proceso puede tomar varios años. Teóricamente, la adición de un impulsor genético a un nuevo rasgo transgénico podría usarse para introducir el rasgo genético deseado más rápidamente en las líneas de mejoramiento de semillas.

Recuadro 5: Impulsores genéticos en plantas. ¿Propaganda exagerada?

A pesar de las afirmaciones de Patrick Tranel y otros sobre el desarrollo de impulsores genéticos en especies de hierbas (ver el apartado "a" sobre malezas y plagas), la naturaleza de los genomas de las plantas hace a los impulsores genéticos producidos con CRISPR mucho menos simples. Los organismos pueden emplear distintos mecanismos para reparar su ADN dañado y los impulsores genéticos mediante CRISPR aprovechan uno de esos mecanismos comunes de reparación (llamado "reparación dirigida por homología") para copiar el impulsor genético en ambos cromosomas. Sin embargo, otro mecanismo existente en las plantas (conocido como "recombinación no homóloga") es predominante. Esto significa que la planta puede reparar rupturas en el ADN de una manera tal que no integre el impulsor genético, por lo que existe una mayor probabilidad de que el impulsor genético no transmita a la descendencia. Esta dificultad significa que los impulsores genéticos basados en CRISPR no pueden ser fácilmente desarrollados en plantas en estos momentos.

f) Controlar y dirigir los "servicios ecosistémicos"

Muchas especies silvestres, incluyendo las llamadas "plagas", realizan valiosos "servicios ecosistémicos". Las abejas y otros insectos polinizan los cultivos; los gusanos y nematodos mejoran la fertilidad de los suelos y las hierbas llamadas "malezas" fijan el nitrógeno en el suelo. Un enfoque alternativo al uso de los impulsores genéticos en la agricultura puede ser el intento por manipular algunos de estos "servicios ecosistémicos" (por ejemplo, la diseminación de genes que fijen el nitrógeno en especies de hierbas o genes que interfieran con la polinización).

Elwha LLC es una empresa estadounidense asociada con Intellectual Ventures, compañía que algunos consideran "secuestradora de patentes". Fue creada por Nathan Myhrvold, científico en jefe de Microsoft. [73] Elwha fue calificada por la CNBC (agencia de noticias financieras) como "una de las cinco principales propietarias de patentes y/o de solicitudes de patente de Bitcoin". [74] Intellectual Ventures

solicitó una patente (US2016/0310754A1) para modificar genéticamente la abeja occidental (*Apis mellifera*), la más común de las abejas productoras de miel en el mundo, así como la *Apis cerana indica*, la abeja de la India, para introducirles impulsores genéticos y transformar a estos insectos en OIG. Específicamente, la patente propone un esquema hipotético para instalar en la población de abejas, genes de diseño "optogenético" es decir, que podrían ser encendidos y apagados por una fuente de luz externa. La solicitud de patente afirma que dicha fuente de luz podría controlar el comportamiento de la abeja, llevándola a sentir que detecta ciertos aromas, atrayéndolas hacia los campos de los agricultores para polinizar sus cultivos. Dado que las abejas serían afectadas por el haz de luz, éste operaría como una especie de "rayo de atracción", afirman los autores de la solicitud. El "haz de luz de atracción" genética de Elwha es completamente teórico y los expertos en abejas consultados por los autores de la solicitud de patente, han expresado un profundo escepticismo respecto a la posibilidad de, algún día, controlar el comportamiento de las abejas de este modo. Sin embargo, el esfuerzo de tramitar una patente de este tipo apunta hacia lo que Sainath Suryanarayanan llama la "impactante soberbia" con la que las empresas privadas discuten sus potenciales intenciones de usar los impulsores genéticos para controlar funciones ecológicas básicas como la polinización, a pesar del hecho de que, tanto las poblaciones de abejas productoras de miel como las abejas silvestres, están en crisis. [75]

"Es de una soberbia impactante, que no ofrece demostración conceptual alguna en los organismos objetivo propuestos" (Sainath Suryanarayanan, autor de Vanishing Bees: Science, Politics and Honeybee Health, al describir la patente de impulsores genéticos de las abejas de Elwha). [76]

g) Remoción de la contaminación genética

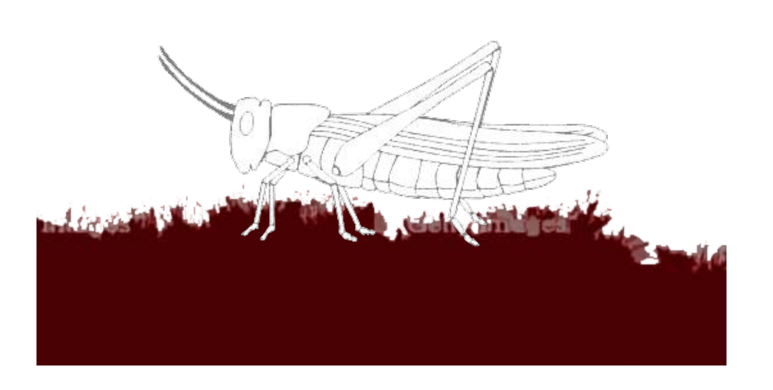
Después de 20 años de usarlos en agricultura, la primera generación de organismos transgénicos resultó en casos de contaminación genética involuntaria, de alto y bajo perfil, en los que los genes de diseño se diseminaron en especies silvestres y domesticadas de modo no intencional. Desde 2000-2001, más de 300 productos alimentarios fueron retirados del mercado porque aproximadamente la mitad de la oferta de maíz en Estados Unidos podría haberse contaminado con una variedad transgénica no autorizada para consumo humano, llamada StarLink, vinculada con la aparición de alergias. Aproximadamente al mismo tiempo, un grupo de científicos descubrió que rasgos transgénicos se habían esparcido en variedades indígenas de maíz en México —que es centro global de origen y diversificación— aún cuando estaba prohibida la siembra de maíz transgénico en ese país. Ambos incidentes propiciaron amplias (y costosas) operaciones de limpieza. La industria estadounidense pagó más de mil millones de dólares sólo para afrontar la contaminación ocasionada por el maíz StarLink, mientras que cientos de comunidades mexicanas iniciaron un intenso trabajo de varios años para identificar y remover las variedades de maíz transgénico de sus parcelas.

Aunque podría considerarse ilógico el uso de impulsores genéticos para remover la contaminación ocasionada por los transgénicos, Kevin Esvelt y sus colegas están proponiendo que su sistema experimental de "impulsores locales" —el "impulsor margarita"— sea empleado de tal manera que los OIG se mezclen con las variedades genéticamente modificadas en campo abierto y las debiliten hasta que las variedades silvestres puedan predominar nuevamente, eliminando la contaminación genética.



Este sistema, denominado "sistema de restauración margarita", se desarrolla con financiamiento del ejército de Estados Unidos (DARPA), y Esvelt y sus colegas afirman que podría servir para la remoción de la contaminación genética. "Podríamos usar esto para restaurar las variedades silvestres de cualquier población sin ningún tipo de transgénicos, ya sea que la contaminación haya venido de otra especie modificada intencionalmente, o por cualquier otra razón".

Esta no es la primera vez que los biotecnólogos proponen el uso de ingeniería genética de punta para remover los OGM. Hace algunos años, el Grupo ETC informó de un sistema denominado "Exorcista" que prometía modificar genéticamente los cultivos para después retirar los genes modificados. La tecnología *Exorcista* no encontró muchos adeptos entre los movimientos defensores de la comida ni entre los campesinos preocupados por la contaminación genética, lo cual podría ser también el destino del "sistema de restauración Margarita". Usar la misma tecnología impredecible que causó el problema originalmente no es motivo de confianza. En el caso de la contaminación del maíz mexicano, después de una larga deliberación, las comunidades campesinas decidieron no limpiar sus variedades de semillas nativas de maíz usando métodos de identificación genética de alta tecnología, sino desarrollar métodos indígenas de identificación y restauración desarrollados a partir de sus propios saberes tradicionales.[78]



5. ¿Tecnología incontrolable?

De modo similar a los OGM, el debate sobre los riesgos y amenazas de los OIG comenzó cuando la tecnología estaba desarrollándose en laboratorio. A fines de 2014, los desarrolladores de OIG publicaron un artículo en la revista *Science* en el que perfilaban algunos de los ámbitos de aplicación de los impulsores genéticos mediante CRISPR, así como la necesidad de su regulación nacional y global, pero la regulación no seguido el paso y el ritmo del desarrollo tecnológico.[79] A medida que más aplicaciones de los impulsores genéticos se aproximan a sus respectivas fases de liberación en campo abierto, los tomadores de decisiones deben abordar urgentemente los impactos perjudiciales de los OIG. Esta sección esboza esas preocupaciones.

Amenazas a la bioseguridad y riesgos ecológicos

En tanto que organismos nuevos, cuya finalidad explícita implica su liberación en el medio ambiente, los OIG portan consigo, al menos, los mismos riesgos que otros OGM. Sin embargo, el mecanismo impulsor genético genera preocupaciones adicionales. Como todos los OGM, los OIG tienen el potencial de presentar comportamientos, rasgos y efectos no previstos. Los biotecnólogos han argumentado previamente que aún si emergieran efectos imprevistos, sus OGM no persistirían ni se esparcirían más allá de su uso controlado, ni causarían cambios significativos a los ecosistemas silvestres. Por contraste, los OIG están diseñados expresamente para propagarse, persistir, crear cambios de gran escala en las poblaciones silvestres e impactar intencionalmente ecosistemas completos.[80]

Un estudio publicado por Esvelt evaluó los resultados generados por proyectos existentes de desarrollo de impulsores genéticos y concluyó que, probablemente, los OIG se volverán invasivos en poblaciones silvestres: "La creación de un sistema estándar de impulsores genéticos mediante CRISPR, que se auto propague, podría equipararse a la creación de una nueva especie, altamente invasiva", escribieron Esvelt y su coautor. Tanto las especies invasivas como los

OIG tienen posibilidades de diseminarse en cualquier ecosistema en el que sean viables, posiblemente ocasionando cambio ecológico”. [81]

A diferencia de los cultivos transgénicos, que los agricultores adquieren periódicamente, se espera que los OIG persistan y transmitan sus modificaciones a lo largo de varias generaciones de especies silvestres y domesticadas, incrementando la posibilidad de mutaciones. En el caso de su empleo en insectos y otras “plagas”, los organismos con impulsores genéticos atravesarían fronteras entre ecosistemas manejados y no manejados, muchos de los cuales se conocen muy poco y tienen enormes diferencias, tanto geográficas como ecológicas entre sí. Dado que los OIG persisten y se propagan, puede ser imposible evaluar con un alto grado de confianza sus impactos potenciales en distintos “ambientes receptores”, así como prever las posibles mutaciones que podrían generar rasgos imprevistos, que a su vez podrían también persistir y propagarse.

Como los impulsores genéticos sintéticos aprovechan el sistema de edición genética CRISPR, del que se ha demostrado que tiene efectos “fuera de objetivo”, existen razones fundadas para preocuparse por la aparición de cambios y/o mutaciones no anticipadas. Este riesgo se repetirá una y otra vez con cada generación cuando el sistema CRISPR sea replicado continuamente, ya no en el laboratorio, sino en campo abierto. [82]

Muchos de los actuales proyectos de desarrollo de impulsores genéticos, en la agricultura y otros sectores, buscan erradicar o remover especies. Eliminar una plaga puede parecer atractivo desde el punto de vista de la eficiente producción de monocultivos alimentarios, pero incluso las plagas tienen un lugar en la cadena alimentaria y pueden, en otros contextos y circunstancias (especialmente fuera de la producción agrícola), resultar esenciales o clave para mantener la biodiversidad (es decir, no siempre se consideran plagas).

Hasta la fecha, no se ha prestado suficiente atención al modo como los constructos impulsores genéticos, particularmente los diseñados con características de auto-extinción, pueden salirse de la especie objetivo y alojarse en especies estrechamente relacionadas. Por ejemplo, un OIG liberado con la intención de erradicar una maleza agrícola podría transferir las capacidades de auto-extinción a otras especies silvestres, lo cual podría resultar devastador para la biodiversidad.

Recientemente, el gen que confiere resistencia al glifosato en una especie de césped de amplio uso en los campos de golf fue encontrado también en un híbrido proveniente de una cruza entre otras especies de pasto, demostrando así que los genes de construcción artificial pueden pasar de una especie a otra por medio de la hibridación. [83]

La erradicación de una especie puede crear, impredeciblemente, espacio para la expansión de otras especies, que podrían ser vectores de enfermedades, afectar la polinización o amenazar a la biodiversidad de múltiples maneras. Incluso, el intento por atacar a los portadores de enfermedades del ganado y de los seres humanos (por ejemplo, los mosquitos), podría forzar que el agente causal de las enfermedades (por ejemplo, los parásitos), cambien de anfitrión, ocasionando el surgimiento de nuevas amenazas para la salud y la agricultura. Cambiar el comportamiento de los insectos, el sentido del olfato en los animales o la fisiología de las plantas puede tener también consecuencias. Existen numerosas lecciones ecológicas preventivas derivadas de experimentos previos de “biocontrol”, donde los organismos introducidos con fines de control agrícola limitado se convirtieron en organismos invasores por su propio derecho. [84]



Solicitudes de patente clave para el uso de impulsores genéticos en agricultura



Plagas asociadas con el maíz



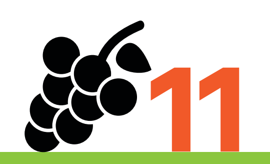
Plagas asociadas con el algodón



Plagas asociadas con granos pequeños



Plagas "dentro del ámbito de la presente declaración" asociadas con el frijol de soya



Plagas asociadas con la uva



Plagas asociadas con la palma



Plagas asociadas con las solanáceas (por ejemplo, pimiento, tomate, calabaza italiana, tabaco, petunia y papa)



Plagas asociadas con frutas de hueso



Plagas de especies de nematodo de quiste



Especies de escolitinos



Plagas de especies de moluscos



Plagas de especies de polillas

112 Variedades de malezas nocivas (19 acuáticas, 5 parasíticas y 88 terrestres)



186 Herbicidas de marca



52 "Malezas adicionales dentro del ámbito de la presente declaración" (por ejemplo, ambrosía, hiedra venenosa, solidago)

46 "Especies de pesticida" (por ejemplo, atrazina, glifosato, naftaleno, hidróxido de cobre)

27 Empresas de agronegocios mencionadas

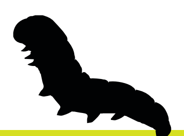


WO2015/105928A1

Título: IMPULSORES GENÉTICOS GUIADOS POR ARN
Inventores: Kevin Esvelt, Andrea Smidler

Beneficiario: Presidente y miembros de la Universidad de Harvard
Fecha de publicación internacional: 16 de julio de 2015

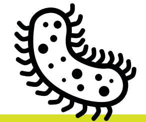
Dos solicitudes de patente clave para impulsores genéticos mediante CRISPR describen ampliamente usos agrícolas y enlistan objetivos agrícolas para el empleo de impulsores genéticos



301
Plagas de insectos

20
Plagas de ácaros agrícolas

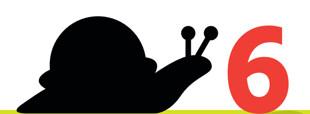
96
Plagas de nematodos agrícolas



68
Nematodos patogénicos de plantas

48
Insectos vectores de patógenos vegetales

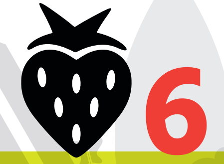
27
Plagas de insectos de plantas ornamentales



6
Plagas de moluscos



18
Plagas de la uva



6
Plagas de la fresa



8
Plagas de la abeja productora de miel

34
Malezas mencionadas que son resistentes a herbicidas o plaguicidas

WO2017/049266 A2

Título: Métodos para la edición genética auto-catalítica y la neutralización de la edición genética auto-catalítica y construcciones derivadas

Beneficiario: Regentes de la Universidad de California

Inventores: Ethan Bier, Valentino Gantz, Stephen Hedrick

Publicada: 23 de marzo de 2017

Recuadro 6: ¿Funcionarán los impulsores genéticos? La evolución contra-ataca

A pesar de los elaborados diseños de los desarrolladores de OIG, los impulsores genéticos sintéticos pueden no funcionar tan precisa o eficazmente como sus promotores lo esperaban al inicio, especialmente cuando se extraigan del ambiente artificial del laboratorio. Como ocurre con cualquier organismo evolutivo, los organismos con impulsores genéticos mutarán y cambiarán con el tiempo. Antes de cumplirse un año de la invención de los impulsores genéticos mediante CRISPR, investigadores que trabajan con mosquitos atestiguaron el surgimiento de resistencias a los impulsores genéticos, puesto que la evolución selecciona mutaciones que desactivan o alteran el impulsor genético. [85] Una reseña publicada en la revista científica *Genetics* concluyó que la "resistencia al impulsor genético mediante CIRSPR evolucionaría casi inevitablemente en la mayoría de las poblaciones naturales", a menos que se diseñen estrategias para superar la resistencia donde ésta aparezca. [86] Investigadores están ahora tratando de diseñar medios para superar la resistencia, es decir, hacer más potentes e invasivos a los impulsores genéticos. [87] Las mutaciones de los impulsores genéticos podrían también cambiar la naturaleza del rasgo genético que pretende forzarse dentro de una población. [88] Desafortunadamente, la falta de eficacia técnica no parece ser suficiente para ralentizar el desarrollo o la liberación de OIG agrícolas. La primera generación de cultivos transgénicos estuvo plagada de problemas técnicos y fallas. A pesar de ello, la visión dominantes de la agricultura de "alta tecnología", junto con manipulaciones de mercado y coerción a escala local, significó a la larga que los cultivos transgénicos —como el algodón Bt— fueran plantados en millones de hectáreas en todo el mundo entre los años 2000 y 2010, con consecuencias desastrosas. Esta catástrofe fue prevista por las comunidades locales, [89] pero sólo ahora comienza a documentarse en la literatura académica. [90]

Implicaciones para la agricultura agroecológica, orgánica y campesina. Necesidad de un consentimiento previo, libre e informado

Las grandes empresas de los agronegocios tal vez pueden mirar calladamente, como una bendición futura para sus ganancias, al herramental de los impulsores genéticos, pero la idea de rasgos genéticamente modificados que agresivamente se imponen y abren paso dentro de los ecosistemas agrícolas y silvestres debería ser causa de alarma tanto para los agricultores tradicionales como los que producen cultivos orgánicos siguiendo los principios de la agroecología.

La primera generación de transgénicos continúa representando un riesgo para la agricultura orgánica, que se promueve como "libre de OGM", lo cual requiere de complejas medidas de defensa contra la contaminación genética y una vigilancia continua. No está claro cómo los agricultores orgánicos, los que cultivan productos libres de transgénicos y los campesinos tradicionales podrán defender sus sistemas de siembra contra los insectos, las hierbas, los cultivos o los polinizadores equipados con impulsores genéticos que ingresen a sus tierras e hibriden o polinicen sus cultivos, o bien, pongan sus huevos o larvas en los productos orgánicos. Varios movimientos de defensa de la producción orgánica de alimentos, incluyendo IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica) y el Consejo Nacional de Estándares Orgánicos (NOSB), de Estados Unidos, han reafirmado que los organismos desarrollados mediante CRISPR y otros enfoques de edición genética se consideran organismos de ingeniería genética y, por tanto, quedan excluidos de los estándares orgánicos. En septiembre de 2018, la Corte de Justicia de la Unión Europea declaró que los organismos editados genéticamente —incluyendo aquellos modificados mediante el uso de técnicas como CRISPR— están sujetos a las mismas regulaciones que otros OGM. [91]

La presencia de OIG basados en CRISPR podría amenazar la calificación de las tierras de producción orgánica como "libres de OGM". También podrían amenazar al mercado de rápido crecimiento de productos alimentarios y de fibras textiles no genéticamente modificados. El proyecto estadounidense Non-GMO, por ejemplo, adoptó una postura clara en contra de permitir que productos derivados de la edición genética (incluyendo los obtenidos mediante CRISPR) obtengan su certificación "mariposa", que actualmente aparece en más de 50 mil artículos alimentarios, cosméticos, textiles y de uso doméstico. Solamente la certificación del Proyecto Non-GMO abarca un mercado de 26 mil millones de dólares.

Algunos promotores de impulsores genéticos alegan que el movimiento orgánico y anti OGM debería cesar su resistencia y acoger la oportunidad que pueden ofrecer los OIG a los sistemas agrícolas

orgánicos y sustentables. Aseguran que una reducción en el número de plagas sin la necesidad de usar aerosoles químicos (pero sí con OIG) podría tener un "efecto de halo" para los agricultores orgánicos, quienes se beneficiarían, además, de una menor presión ejercida por las plagas en sus cultivos. La noción de que las malezas y plagas pueden ser modificadas para hacerlas vulnerables a compuestos "no tóxicos" se ofrece a los productores orgánicos como una oportunidad para transitar a una agricultura más amable y suave, al tiempo que se elimina el uso de sustancias agrotóxicas. Sin embargo, el nombrar a los organismos silvestres "plagas" o "malezas", y después modificarlas para exterminarlas es un enfoque que encaja perfectamente en el paradigma simplista de la agricultura industrial de monocultivo. En vez de definir estos elementos del paisaje agrario como enemigos que deben vencerse con armas químicas o genéticas, los practicantes de la agroecología, como los campesinos y los pueblos indígenas, trabajan mejor con la diversidad de plantas e insectos que aparecen en las parcelas y diseñan sus propias estrategias locales y específicas de manejo.

"Debemos tener en cuenta que un impulsor genético también puede usarse para beneficiar los intereses económicos de grupos particulares, los cuales tienen muy poco en consideración el interés general. No existe tal cosa como una "plaga" en sí: una población es plaga en relación con intereses específicos, lo cual no significa que dichos intereses sean ilegítimos, sino que son relativos. Las especies que algunos llaman "plaga", bien pueden ser polinizadores y alimento de otras especies, o bien, desempeñar un papel ecológico importante para la economía local" (Virginie Courtie-Orgogozo et al.). [92]

La amenaza de introducción de OIG en las tierras de campesinos y pueblos indígenas es también una afrenta directa a su soberanía y derechos asociados con el consentimiento previo, libre e informado acerca de los proyectos de desarrollo en sus territorios (como lo establece la Declaración de Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas). En diciembre de 2017, un grupo de expertos de la ONU sobre biología sintética propuso que el consentimiento informado de los pueblos indígenas sea una precondición para la liberación de OIG:

"Dadas la actuales incertidumbres respecto a los impulsores genéticos, se justificaría —para el desarrollo y posible liberación de organismos que contengan impulsores genéticos de diseño (incluyendo las liberaciones experimentales)— un enfoque precautorio y de cooperación con todos los países y los sectores que podrían ser afectados, tomando en consideración la necesidad del consentimiento previo, libre e informado de los pueblos indígenas y las comunidades locales, con el fin de evitar efectos adversos potencialmente significativos e irreversibles en la biodiversidad." [93]

Este sentimiento fue retomado por el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico (OSACTT) del Convenio sobre Diversidad Biológica, en una decisión de julio de 2018.

Como ha sido bien documentado con los OGM, el desarrollo de OIG contradice el principio precautorio. [94] Los OIG también están en diametral oposición a los principios de la soberanía alimentaria establecidos en la Declaración de Nyéléni del Foro sobre Soberanía Alimentaria (2007 y 2015), [95] la cual llama a realizar un cambio hacia sistemas que "drásticamente reduzcan nuestro uso de insumos adquiridos externamente y que deben adquirirse de la industria". Mientras que la Declaración de Nyéléni exige "el control de los pueblos sobre las agendas, los objetivos y las metodologías de investigación", una "custodia de la biodiversidad" y "tomar de vuelta el control de las semillas y del material reproductivo", los impulsores genéticos parecen ser otro medio para forzar a los campesinos y pescadores a adoptar métodos más orientados al monocultivo y a la dependencia respecto a insumos de propiedad intelectual y a conocimientos científicos especializados. Así como los OGM van contra los principios de la agroecología, los OIG constituyen otra "falsa solución y peligrosa nueva tecnología", como los llama la Declaración de Nyéléni. Contienen rasgos diseñados en laboratorios distantes y no están, ni podrían nunca estar bajo el control de los campesinos.

Los OIG parecen estar inspirados por la filosofía emergida de Silicon Valley, que sugiere que la tecnología debe "moverse rápido y romper cosas". [96] Cuando se combina esta idea con la visión de una agricultura guiada por "datos masivos" (Big data), los impulsores genéticos podrían convertirse en una herramienta para que supuestas "plagas" identificadas por un tractor conectado a un GPS, sean controlados por la liberación de organismos con impulsores genéticos, que serían versiones modificadas de la especies consideradas plagas. Este escenario constituye entonces una nueva vuelta de tuerca que acumula ganancias en las acciones de las empresas trasnacionales que controlan este sistema de "precisión".

6. Actuar con ética en un vacío de gobernanza

“Llegó el momento de considerar si la biología sintética puede ser una solución perversa, que está creando ella misma problemas nuevos, algunos de los cuales son inaceptables.” (Kent H. Redford, William Adams, Georgina M. Mace, 2013).[97]

Recientemente, un borrador de un informe de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), titulado “¿Genes para la naturaleza?”, reconoce que la biología sintética (término que incluye los impulsores genéticos) constituye una “perfecta ilustración de un ‘problema perverso’: mal definido, sin una respuesta adecuada y que depende del contexto y del juicio político para su resolución”.[98, 99] Sin embargo, como Kent Redford y sus colegas señalaron en su artículo fundamental de 2013, las curas para nuestros males, basadas en la biología sintética, podrían ser peores que la enfermedad.[100]

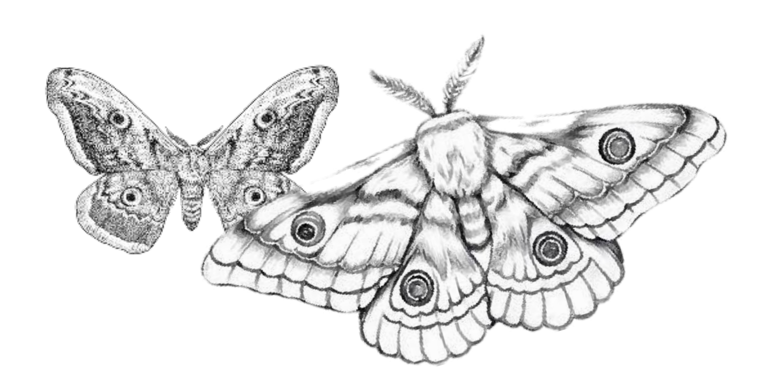
Muchos científicos y tomadores de decisiones políticas que han apoyado los OGM se negaron a aceptar que los aspectos éticos relacionados con su desarrollo constituían un “problema perverso”. Más bien, prometieron que los OGM serían una ruta fácil hacia el incremento de los rendimientos productivos alimentarios y, con ello, “alimentarían al mundo”. El resultado de esta sobre-simplificación de los problemas y sus supuestas soluciones, ha sido la aplicación de un régimen regulatorio laxo, que crea problemas aún más perversos que aquellos que la ingeniería genética pretendía resolver. La “cura” de los OGM probó ser peor que la enfermedad para muchos campesinos, consumidores y el medio ambiente.[101]

Menos de cinco años después de los primeros experimentos en laboratorio para “validar el concepto”, el tema de la gobernanza de los impulsores genéticos se ha movido rápidamente para colocarse en el centro de las negociaciones internacionales sobre la biodiversidad, donde se ha escuchado el llamado de más de 170 organizaciones de todo el mundo exigiendo una moratoria a la experimentación y liberación de impulsores genéticos.[102]

Correos electrónicos publicados gracias a solicitudes de derecho a la información pública muestran que los principales financiadores de los impulsores genéticos están gastando millones de dólares en campañas de relaciones públicas y agresivas acciones de cabildeo para evitar la aplicación de una moratoria.[103] Adicionalmente, la Nueva Alianza para el Desarrollo de África (NEPAD), de la Unión Africana, recibió 2.3 millones de dólares para “promover el uso de los impulsores genéticos”.[104]



Ocho recomendaciones





1. Llamar al establecimiento de una moratoria a la liberación de impulsores genéticos

Un amplio espectro de organizaciones de la sociedad civil internacional y líderes en el movimiento global en defensa de la alimentación recomiendan que el Convenio sobre la Diversidad Biológica de la ONU (CBD) o un cuerpo equivalente a nivel de la ONU establezca inmediatamente una moratoria a la investigación aplicada, el desarrollo y la liberación de los OIG, que incluya las pruebas de campo. Si los OIG salen del laboratorio, su regulación probablemente sería un reto mucho mayor de lo que fue la regulación de los OGM, puesto que la propagación de una modificación genética constituye una parte integral de su diseño e intención. De manera similar a las emisiones industriales de gases con efecto invernadero, los OIG constituirían un problema transfronterizo que, potencialmente, se reproduciría indefinidamente, generando espinosos dilemas para la gobernanza.

No existe en la actualidad un proceso consensado para la gobernanza efectiva de los efectos transfronterizos derivados de la liberación de OIG. Dado que es probable que tales organismos se propaguen más allá de las fronteras políticas nacionales, esto constituye un vacío de gobernanza altamente significativo, el cual ha sido señalado por la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina de Estados Unidos.[105] El CBD ya reconoció previamente los riesgos ambientales, culturales y de salud humana que representan los organismos vivos genéticamente modificados.[106] El principio del consentimiento previo, libre e informado respecto al movimiento transfronterizo de organismos genéticamente modificados se estableció a través del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología,[107] que impone a la parte exportadora del organismo modificado el deber de solicitar y obtener el consentimiento previo, libre e informado del país de destino. Los procedimientos fueron diseñados para cubrir el movimiento intencional transfronterizo de OGM entre dos naciones vecinas. Dado que los procedimientos fueron diseñados para los OGM —cuya intención no es la de propagarse en el ambiente—, claramente no son adecuados para el movimiento de los OIG, cuyo diseño inherente implica su propagación, potencialmente global, independientemente de las fronteras internacionales.

Dado que los OIG han sido deliberadamente diseñados para cambiar o alterar especies, y dado que estas especies objetivo están distribuidas a través de fronteras políticas, los efectos transfronterizos probablemente emergerían en múltiples países. Si un OIG es propuesto para su liberación en un país, de ello se entiende que todas las naciones potencialmente afectadas por esa liberación necesitarían deliberar conjuntamente estos problemas, empleando procedimientos que aún no existen porque no han sido diseñados acorde a estas tecnologías.

2. Acordar reglas para una contención segura

Los impulsores genéticos están diseñados para persistir y propagarse. Mientras sus desarrolladores afirman que en el futuro podrían existir los medios técnicos y geográficos para contener eficazmente a los OIG, estas afirmaciones y presunciones hipotéticas deben examinarse rigurosamente.[108] Las pruebas de laboratorio actuales conllevan un riesgo inevitable de liberación accidental.[109] Es necesario que, a escala internacional, se acuerden y pongan en práctica reglas estrictas para el manejo en laboratorio y para la contención, aplicables a toda la investigación sobre impulsores genéticos, antes de que se lleve a cabo nueva investigación, incluso en laboratorio.

3. Establecer mecanismos de evaluación y monitoreo y demostrar los métodos de reversibilidad

Antes de que cualquier OIG sea liberado, incluso para pruebas en campo, sería necesario el desarrollo de procedimientos internacionalmente aceptados, tanto para el monitoreo y la evaluación de impactos, como para rastrear la propagación de los constructos de impulsores genéticos en los ecosistemas silvestres. Esto implicaría el desarrollo de medios prácticos para detectar impulsores genéticos en poblaciones silvestres y el alcance de acuerdos sobre el espectro de los efectos que deberían ser monitoreados y, muy importante, las metodologías que se emplearían. Igualmente, necesitarían crearse medios verificables para remover y revertir los efectos de los impulsores genéticos en ecosistemas silvestres, los cuales tendrían que ponerse a disposición de las comunidades y los agricultores. Sin una investigación detallada sobre estos temas, no tiene sentido comenzar a diseñar acuerdos para el manejo de los OIG. También se requiere investigación respecto a quién cargará con la responsabilidad de los costos del monitoreo y cómo estos habrán de distribuirse, así como reglas que incluyan la responsabilidad de remover y de verificar la remoción de los impulsores genéticos.

4. Asegurar el consentimiento previo, libre e informado de todas las comunidades afectadas

Además de las provisiones ya existentes en el Protocolo de Cartagena que requieren que las partes obtengan consentimiento previo, libre e informado antes de llevar a cabo un movimiento transfronterizo de un organismo vivo genéticamente modificado que será liberado en el ambiente, existen deberes adicionales de los estados que podrían tener impacto en la invasión de OIG en las tierras y territorios de pueblos indígenas y comunidades locales.

El concepto de consentimiento previo libre e informado es uno de los aspectos fundamentales consagrados en la Declaración de los Derechos de los Pueblos Indígenas de la ONU. Esta necesidad de obtener el consentimiento para los proyectos de impulsores genéticos fue señalada explícitamente por el Grupo Ad Hoc de Expertos Técnicos en Biología Sintética en su informe de diciembre de 2017 y fue planteada nuevamente en la vigésimo segunda reunión del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico del CBD.[110]

5. Prohibir el "uso dual" militar y proteger el derecho a la alimentación

Hay muy poca información disponible sobre el potencial uso militar de los impulsores genéticos, aunque ya quedó establecido que las agencias militares de Estados Unidos se encuentran entre las principales financiadoras en esta área de investigación. El temprano predominio de la intervención militar en este campo es distinto del caso de los OGM, donde la mayor inversión provino de grandes empresas de agronegocios y energía. El empleo de los OIG como agentes de control biológico en la agricultura permitiría al sector militar desarrollar tecnología para la guerra. Si un mecanismo impulsor genético puede exterminar a un insecto, podría también usarse para guiar a un depredador de esa plaga o, peor aun, a un tipo específico de cultivo alimentario. La capacidad de exterminar especies completas en regiones seleccionadas —meta explícita del sistema de "impulsores genéticos locales"—, podría usarse como arma de guerra para matar de hambre al Estado enemigo, al negarle a su pueblo el derecho a la alimentación.

Dado este potencial "uso dual" de los OIG, consideramos que existen argumentos suficientes para recurrir al Convenio sobre la Prohibición de Utilizar Técnicas de Modificación Ambiental con Fines Militares u Otros Fines Hostiles (ENMOD), tratado internacional que prohíbe el uso militar u hostil de técnicas de modificación ambiental que podrían tener efectos extensos, de largo plazo o severos.[111] Sugerimos este tratado como una útil herramienta regulatoria, dado que los OIG son desarrollados en la mayoría de los países firmantes del tratado.

6. Aprender de la historia. Promover que la sociedad reflexione sobre el pasado

Incluso si la intención no es hostil, la historia está repleta de ejemplos sobre intentos de control biológico en los sistemas agrícolas industrializados que han salido mal. La introducción del sapo de caña (en Australia y el Caribe) y de la mangosta (Hawai) son algunos de los ejemplos mejor conocidos. En el capítulo sobre OGM del informe fundamental sobre OGM elaborado por la Agencia Ambiental Europea, en el que se aborda el principio precautorio, Quist et al., escriben que:

"... los proveedores [de tecnologías genéticas] homogenizan artificialmente tanto la concepción del problema a resolverse como las soluciones que proponen (como las plantas genéticamente modificadas). Con demasiada frecuencia, los cuestionamientos a la racionalidad de este enfoque quedan en segundo plano en relación con la discusión nunca cuestionada sobre el uso de este enfoque. Tal vez se necesita una mayor reflexión y deliberación social respecto a por qué y para quién deben ser producidas las innovaciones agrícolas, si es que verdaderamente vamos a seguir rutas más sustentables para la producción de alimentos y fibras textiles." [112]

7. Practicar ciencia precautoria

Para evitar que los OIG se impongan en el campo de la misma manera, debemos aceptar la naturaleza "perversa" de los problemas que enfrentan los agricultores y adoptar una perspectiva precautoria.

Mientras algunos genetistas se mostraron miopes durante el desarrollo temprano de los OGM, al ignorar gigantescos puntos ciegos relativos a saberes sociales y ecológicos, en esta ocasión existen signos cada vez más visibles de que los científicos mismos podrían inclinarse por un enfoque más precautorio.

En un caso reciente en Estados Unidos, las preocupaciones sociales llevaron a investigadores de la Universidad de Cornell a reevaluar su cronograma: a pesar de haber recibido permiso para una liberación abierta, los investigadores retrasaron las pruebas en campo abierto. Ellos mismos llamaron a su decisión "ciencia responsable". [113] Ya sea que la regulación de los OIG sea o no inminente en el futuro próximo, los científicos que trabajan para desarrollarlos deben adoptar esta ética y sólo avanzar cuando tengan un claro consentimiento social y se hayan acordado reglas globales transparentes. No existe excusa para no detenerse a considerar los problemas tan ampliamente como sea necesario. [114]

8. Examinar las implicaciones para la seguridad alimentaria mundial y para el derecho a la alimentación y la nutrición

Recomendamos también que el Panel de Expertos de Alto Nivel sobre Seguridad Alimentaria y Nutrición de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) realice una evaluación urgente de los daños potenciales de los impulsores genéticos, que podría considerarse en una futura reunión del Comité de Naciones Unidas sobre Seguridad Alimentaria (CFS). El papel de los impulsores genéticos en nuestro sistema alimentario debería ser parte de un debate público, amplio e incluyente, en el que se incluya la deliberación pública, la escucha de los valores ciudadanos e incluso perspectivas artísticas y culturales (Figura 5).[115] Se trata de un tema que también podría abordar y considerar el Relator Especial de la ONU sobre el Derecho a la Alimentación.



Figura 5: Proyecto del Pollo Rosa. El arte puede resaltar lo que pasaría con organismos con impulsores genéticos. [116]

Referencias

[1] *Nature*, "Trend Watch", in Seven Days: The News in Brief, *Nature*, v. 532, 21 de abril de 2016, p. 287, https://www.nature.com/polopoly_fs/1.19772!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/532286a.pdf?origin=ppub.

[2] Austin Burt, "Site-specific selfish genes as tools for the control and genetic engineering of natural populations", en *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.* v. 270. n. 1518, 2003, p. 921.

[3] Simon Samson, Mathias Otto y Margret Engelhard, "Synthetic gene drive: between continuity and novelty: Crucial differences between gene drive and genetically modified organisms require an adapted risk assessment for their use", en *EMBO reports*, v. 19, n. 5, 2 de abril de 2018.

[4] Nik Brown, Sian M Beynon-Jones, "'Reflex regulation': An anatomy of promissory science governance", en *Health, Risk & Society, v. 14, n. 3, 26 de marzo de 2012, pp. 223-240.*

[5] Bruce L. Webber, S. Raghu y Owain R. Edwards, "Opinion: Is CRISPR-based gene drive a biocontrol silver bullet or global conservation threat?", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 34, 13 de agosto de 2015, pp. 10565-10567.

[6] *Ibíd.*

[7] C.F. Curtis, "Possible use of translocations to fix desirable genes in insect pest populations", en *Nature*, v. 218, n. 5139, p. 368.

[8] V.M. Gantz, E. Bier, "The dawn of active genetics", *Bioessays*, v. 38, n. 1, enero de 2016.

[9] Christian E. Ogaugwu, Stanley O. Agbo y Modinat A. Adekoya, "CRISPR in Sub-Saharan Africa: Applications and Education", en *Trends in Biotechnology*, agosto 2018. *En prensa.*

[10] Samson Simon, Mathias Otto y Margret Engelhard, "Synthetic gene drive: between continuity and novelty: Crucial differences between gene drive and genetically modified organisms require an adapted risk assessment for their use", en *EMBO reports*, v. 19, n. 5, 2 de abril de 2018.

[11] Ludwig Burger, "Bayer's Monsanto faces 8,000 lawsuits on glyphosate", en *Reuters*, 23 de agosto de 2018, https://uk.reuters.com/article/us-bayer-glypho-sate-lawsuits/bayers-monsanto-fac-es-8000-law-suits-on-glyphosate-idUKKCN1L81J0.

[12] Ver: https://genedrivenetwork.org/.

[13] Ver:https://genedrivenetwork.org/resources/7-factsheet-whats-a-gene-drive-july-2018/file.

[14] Hannah Devlin, "Woolly mammoth on verge of resurrection, scientists reveal", en *The Guardian*, 16 de febrero de 2017, https://www.theguardian.com/science/2017/feb/16/woolly-mammoth-resu-rrec-tion-scientists.

[15] Entrevista telefónica con Kevin Esvelt para el grupo ETC – 16 de mayo de 2016.

[16] Issi Rozen, "Licensing CRISPR for Agriculture: Policy considerations", 29 de septiembre de 2016, https://www.broadinstitute.org/news/licensing-crispr-agri-culture-policy-considerations.

[17] Ver: http://genedrivefiles.synbiowatch.org/.

[18] Ver: http://genedrivefiles.synbiowatch.org/2017/12/01/us-military-gene-drive-development/#7.

[19] Ver: http://genedrivefiles.synbiowatch.org/2017/12/01/us-military-gene-drive-development/#8.

[20] En febrero de 2018, el jefe de políticas internacionales de Syngenta, Tichafa Munyikwa, participó en un seminario celebrado para desarrollar una guía de la investigación realizada sobre impulsores genéticos. En otra ocasión, estas discusiones incluyeron a Steven Evans de Dow Agrosciences.

[21] Antonio Regalado, "Farmers Seek to Deploy Powerful Gene Drive", en *MIT Technology Review*, 12 de diciembre de 2017, https://www.technologyreview.com/s/609619/farmers-seek-to-deploy-powerful-gene-drive/.

[22] Ver: http://www.sculptingevolution.org/.

[23] O.S. Akbari, K.D. Matzen, J.M. Marshall, H. Huang, C.M. Ward y B.A. Hay, "A synthetic gene drive system for local, reversible modification and suppression of insect populations." *en Current Biology*, v. 23, n. 8, 22 de abril de 2013, pp. 671-677.

[24] Paul D Mitchell, Zachary Brown, and Neil McRoberts, "Economic Issues to Consider for Gene Drives", en *Journal of Responsible Innovation*, v. 5, n. supl, 24 de enero de 2018, pp. S180–202.

[25] Virginie Courtier-Orgogozo, Baptiste Morizot y Christophe Boëte, "Agricultural Pest Control with CRISPR-based Gene Drive: Time for Public Debate: Should We Use Gene Drive for Pest Control?", *en EMBO* Reports, v. 18, n. 6, 1 de junio de 2017, pp. 878–80.

[26] *Ibíd.*

[27] Ver: El gusano rosa transgénico de Oxitec (https://www.oxitec.com/crop-protection/pink-boll-worm/) y la palomilla dorso de diamante (https://www.oxitec.com/crop-protection/diamond-back-moth/).

[28] "Systems and methods for controlling animal behaviour via optogenetics", Solicitud de patente de EU (US Patent Application), 24 de abril de 2015, Número de patente: US20160310754A1. Véase: https://patentimages.storage.googleapis.com/27/23/4d/e5c6be540ad06c/US20160310754A1.pdf.

[29] Virginie Courtier-Orgogozo, Baptiste Morizot y Christophe Boëte, "Agricultural Pest Control with CRISPR-based Gene Drive: Time for Public Debate: Should We Use Gene Drive for Pest Control?", en *EMBO Reports*, v. 18, n. 6, 1 de junio de 2017, pp. 878–80.

[30] Presentación de Kevin Esvelt en el Instituto Broad. Véase: https://www.youtube.com/watch?v=qkmraCGm-bk.

[31] Maxwell J. Scott, Fred Gould, Marcé Lorenzen, Nathaniel Grubbs, Owain Edwards y David O'Brochta, "Agricultural production: assessment of the potential use of Cas9-mediated gene drive systems for agricultural pest control", en *Journal of Responsible Innovation*, v. 5, n. supl, 11 de diciembre de 2017, pp. S98-S120.

[32] Robert Arnason, "Playing God: are we prepared to use gene drive technology?", en *Western Producer*, 14 de diciembre de 2017, https://www.producer.com/2017/12/playing-god-prepared-use-gene-drive-tech-nology/.

[33] Patente: US2016/0333376A1.

[34] Patente: WO2017049266A2.

[35] Anna Buchman *et al*., "Synthetically engineered Medea gene drive system in the worldwide crop pest Drosophila suzukii", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n. 18, 1 de mayo de 2018, pp. 4725-4730.

[36] Citado en Antonio Regalado, "Farmers Seek to Deploy Powerful Gene Drive", en *MIT Technology Review*, 12 de diciembre de 2017, https://www.technologyreview.com/s/609619/farmers-seek-to-deploy-powerful-gene-drive/.

[37] Angela Meccariello, Simona Maria Monti, Alessandra Romanelli, Rita Colonna, Pasquale Primo, Maria Grazia Inghilterra, Giuseppe Del Corsano *et al*., "Highly Efficient DNA-Free Gene Disruption in the Agricultural Pest Ceratitis Capitata by CRISPR-Cas9 Ribonucleo-protein Complexes", en *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 30 de agosto de 2017, p. 10061.

[38] M.J. Wade y R.W. Beeman, "The population dynamics of maternal-effect selfish genes", en *Genetics*, v. 138, n. 4, pp. 1309-1314.

[39] Anna Buchman *et al*., "Synthetically engineered Medea gene drive system in the worldwide crop pest Drosophila suzukii", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n. 18, 1 de mayo de 2018, pp. 4725-4730.

[40] Patente: PCT/US2017/014846.

[41] John M. Marshall y Bruce A. Hay, "Medusa: A Novel Gene Drive System for Confined Suppression of Insect Populations", en *PLOS ONE*, v. 9, n. 7, 23 de julio de 2014.

[42] Ricarda Steinbrecher, "Gene drives breakthrough needs urgent restraint", en *GM Watch*, 24 de septiembre de 2018, https://gmwatch.org/en/news/latest-news/18474-gene-drives-breakthrough-needs-urgent-restraint.

[43] John W. Grula y Orley R. Taylor, "The Effect of X-Chromosome Inheritance on Mate-Selection Behavior in the Sulfur Butterflies, Colias Eurytheme and C. Philodice", en *Evolution*, v. 34, n. 4, 1980, pp. 688–95.

[44] N. Devis et al., "Speciation in two neotropical butterflies: extending Haldane's rule". *Proceedings of the Royal Society of London* B: en Biological Sciences, v. 264, n. 1383, 1997, 845-851.

[45] Caspar A. Hallmann, Martin Sorg, Eelke Jongejans, Henk Siepel, Nick Hofland, Heinz Schwan, Werner Stenmans, *et al*., "More than 75 Percent Decline over 27 Years in Total Flying Insect Biomass in Protected Areas", en *PLOS ONE*, v. 12, n. 10, 18 de octubre de 2017.

[46] Michael McCarthy, "A Giant Insect Ecosystem Is Collapsing Due to Humans. It's a Catastrophe", *The Guardian*, 21 de octubre de 2017, https://www.theguardian.com/environment/2017/oct/21/insects-giant-ecosystem-collapsing-human-activity-catastrophe.

[47] Fontini A Koutroumpa, Christelle Monsempes, Marie-Christine François, Anne de Cian, Corinne Royer, Jean-Paul Concordet y Emmanuelle Jacquin-Joly, "Heritable Genome Editing with CRISPR/Cas9 Induces Anosmia in a Crop Pest Moth", en *Scientific Reports*, v. 6, 12 de julio de 2016, 29620.

[48] Ver: http://web.media.mit.edu/~viirj/BioFab/11.html.

[49] Christian E Ogaugwu, Stanley O. Agbo y Modinat A. Adekoya, "CRISPR in Sub-Saharan Africa: Applications and Education", *Trends in Biotechnology*, agosto de 2018. En prensa.

[50] Ver:https://shelton.entomology.cornell.edu/diamondbackmoth/diamondback-moth-project-at-cornell-university-faq/.

[51] R.G. Reeves y M Phillipson, "Mass Releases of Genetically Modified Insects in Area-Wide Pest Control Programs and Their Impact on Organic Farmers", en *Sustainability*, v. 9, n. 1, 2017, p. 59.

52 Keith R. Hayes, Geoffrey R. Hosack, Genya v. Dana, Scott D. Foster, Jessica H. Ford, Ron Thresher, Adrien Ickowicz, *et al*., "Identifying and Detecting Potentially Adverse Ecological Outcomes Associated with the Release of Gene-Drive Modified Organisms", en *Journal of Responsible Innovation*, v. 5, n. supl, 24 de enero de 2018, pp. S139-58.

53 Citrus Research and Development Foundation, "NuPsyllid: Rear and Release Psyllids as Biological Control Agents– An Economical and Feasible Mid-Term Solution for Huanglongbing (HLB) Disease of Citrus", en *Quarterly Report* para el periodo de noviembre, 2016. https://citrusrdf.org/wp-content/uploads/2013/01/nuPsyllid_May-2017-Quarterly-Report.pdf.

54 Maxwell J. Scott, Fred Gould, Marcé Lorenzen, Nathaniel Grubbs, Owain Edwards y David O'Brochta, "Agricultural production: assessment of the potential use of Cas9-mediated gene drive systems for agricultural pest control", en *Journal of Responsible Innovation*, v. 5, n. supl, 11 de diciembre de 2017, pp. S98-S120.

55 N. Shukla y S.R. Palli, "Tribolium castaneum Transformer-2 Regulates Sex Determination and Development in Both Males and Females", en *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v. 43, n. 12, 2013, pp. 1125–1132.

56 Ver:https://shelton.entomology.cornell.edu/diamondbackmoth/diamondback-moth-project-at-cornell-university-faq/.

57 Ver:http://www.westernfarmpress.com/management/rodent-dam-age-costing-agriculture-industry-millions.

58 G.R. McFarlane, C.B.A. Whitelaw y S.G. Lillico, "CRISPR-Based Gene Drives for Pest Control", en *Trends in Biotechnology*, v. 36, n. 2, 2018, pp. 130-133.

59 Ver las copias de los correos electrónicos en el siguiente vínculo: https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://genedrivefiles.synbiowatch.org/wp-content/uploads/special/Edward+Hammond/20170726-Re_Two+Action+Items Decisions+Needed+from+GBIRd+Steering+ Committe-42pdf.

60 H.A. Grunwald, V.M. Gantz, G. Poplawski, S.X. Xiangru, E. Bier y K.L. Cooper, "Super-Mendelian inheritance mediated by CRISPR/Cas9 in the female mouse germline", en *BioRxiv*, 1 de enero de 2018, p. 362558. Artículo pre-impreso.

61 Ver: http://www.sculptingevolution.org/genedrives/current/nematodes.

62 Patente: WO2017049266A2.

63 Dihong Lu, Tiffany Baiocchi y Adler R. Dillman, "Genomics of Entomopathogenic Nematodes and Implications for Pest Control", en *Trends in parasitology*, v. 32, n. 8, de agosto de 2016, pp. 588–598, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4969101/.

64 Rebecca S Shapiro et al., "A CRISPR–Cas9-based gene drive platform for genetic interaction analysis in Candida albicans", en *Nature Microbiology*, v. 3, 23 de octubre de 2017, pp. 73-82.

65 Robyn Feinberg, "Research delves into the sensory makeup of mosquitoes, fighting spread of disease", en *Nevada Today*, 7 de agosto de 2017, https://www.unr.edu/nevada-today/news/2017/cabnr/biology-receive-grant.

66 Ver: http://genedrivefiles.synbiowatch.org/as-notes-on-darpa-safe-genes-rollout-san-diego-may-2-2017/.

67 Yan Li, Jie Zhang, Dafeng Chen, Pengcheng Yang, Feng Jiang, Xianhui Wang y Le Kang, "CRISPR/Cas9 in Locusts: Successful Establishment of an Olfactory Deficiency Line by Targeting the Mutagenesis of an Odorant Receptor Co-Receptor (Orco)", en *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v. 79, octubre de 2018, pp. 27–35.

68 Ver:https://www.cropscience.bayer.ca/~/media/Bayer%20CropScience/Country-Canada-Internet/Growers%20Tools/CPG/West/2018/BCS10798787_2018CPG_The%20True%20Cost%20of%20Herbicide-Resistant%20Weeds.ashx.

69 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Gene Drives on the Horizon: *Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*, National Academies Press, 2016.

70 John Min, Andrea L. Smidler, Devora Najjar y Kevin M. Esvelt, "Harnessing Gene Drive." en *Journal of Responsible Innovation*, v. 5, n. supl, 24 de enero de 2018, pp. S40–65.

71 Serap Gonen, Janez Jenko, Gregor Gorjanc, Alan J. Mileham, C. Bruce A. Whitelaw y John M. Hickey, "Potential of Gene Drives with Genome Editing to Increase Genetic Gain in Livestock Breeding Programs", en *Genetics Selection Evolution*, v. 49, n. 1, 4 de enero de 2017, p. 3.

72 Un secuestrador de patentes es una compañía que intenta ejercer derechos de patente contra un infractor por encima del valor original de la patente o de la contribución a una invención anterior recurriendo a tácticas legales. Normalmente, los troles



de patentes no generan productos u ofrecen servicios basados en las patentes que ostentan. Sin embargo, en algunos casos, organismos que no ejercen los derechos de su patente pueden no ser considerados "troles de patentes" cuando solicitan sus tecnologías patentadas bajo términos razonables.

73 Ver: https://www.cnbc.com/2017/12/19/a-new-form-of-bitcoin-mining-patent-trolls-coming-for-the-blockchain.html.

74 L. Maxim y J. van der Sluijs, "Seed-dressing systemic insecticides and honeybees", en *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation, European Environment Agency*: Copenhague, 2013, https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2/late-lessons-chapters/late-lessons-ii-chapter-16/view.

75 S. Suryanarayanan y D.L. Kleinman, *Vanishing Bees: Science, Politics, and Honeybee Health*, Rutgers University Press: Nueva Jersey, 2016.

76 Presentación de Kevin Esvelt en el Instituto Broad. Véase: https://www.youtube.com/watch?v=qkmraCGm-bk.

77 Venetia Thompson, "Ancient Corn is Coming to Whole Foods. Just Don't Try to Buy it in Mexico", en *Civil Eats*, 27 de octubre de 2017, https://civileats.com/2017/10/27/ancient-corn-is-coming-to-whole-foods-but-remains-out-of-reach-in-mexico/.

78 Kenneth A. Oye, Kevin Esvelt, Evan Appleton, Flaminia Catteruccia, George Church, Todd Kuiken, Shlomiya Bar-Yam Lightfoot, Julie McNamara, Andrea Smidler y James P. Collins, "Regulating Gene Drives", en *Science*, v. 345, n. 6197, 8 de agosto de 2014, p. 626.

79 Samson Simon, Mathias Otto y Margret Engelhard, "Synthetic gene drive: between continuity and novelty: Crucial differences between gene drive and genetically modified organisms require an adapted risk assessment for their use", en *EMBO reports*, v. 19, n. 5, 2 de abril de 2018.

80 Kevin M. Esvelt y Neil J. Gemmell, "Conservation demands safe gene drive", en *PLOS Biology*, v. 15, n. 11, noviembre de 2017.

81 European Network of Scientists for Social and Environmental Responsibility, "ENSSER Statement on New Genetic Modification Techniques: products of new genetic modification techniques should be strictly regulated as GMOs", 27 de septiembre de 2017, https://ensser.org/topics/increasing-public-information/ngmt-statement/.

82 M.L. Zapiola y C.A. Mallory-Smith, "Crossing the divide: gene flow produces intergeneric hybrid in feral transgenic creeping bentgrass population", en *Molecular Ecology*, v. 21, n. 19, 2012, pp. 4672-4680.

83 Kevin M. Esvelt y Neil J. Gemmell, "Conservation demands safe gene drive", en *PLOS Biology*, v. 15, n. 11, noviembre de 2017.

84 Ewen Callaway, "Gene drives thwarted by emergence of resistance organisms", en *Nature News*, 31 de enero de 2017, https://www.nature.com/news/gene-drives-thwarted-by-emergence-of-resistant-or-ganisms-1.21397.

85 R.L. Unckless et al., "Evolution of Resistance Against CRISPR/Cas9 Gene Drive", en *Genetics*, v. 205, n. 2, febrero de 2017, pp. 827-841.

86 John M. Marshall et al., "Overcoming evolved resistance to population-suppressing homing-based gene drives", en *Scientific Reports*, v. 7, 19 de junio de 2017, https://www.nature.com/articles/s41598-017-02744-7.

87 Tina Seay, 'Resistance to CRISPR gene drives may arise easily,' en *Science News*, 20 de julio de 2017, https://www.sciencenews.org/article/resistance-crispr-gene-drives-may-arise-easily.

88 M.P. Pimbert y T. Wakeford, "Prajateerpu: A citizens jury/scenario workshop on food and farming futures for Andhra Pradesh", en *Economic and Political Weekly (India)*, v. 32, n. 27, 2002, pp.2778-2787.

89 G. Thomas y J. De Tavernier, "Farmer-suicide in India: debating the role of biotechnology", en *Life Sciences, Society and Policy*, v. 13, n. 8, 2017.

90 Ver el comunicado de prensa de la Corte de Justicia de la Unión Europea, n. 111/18, Luxemburgo, 25 de julio de 2018: https://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/2018-07/cp180111en.pdf.

91 Jennifer Baltzegar, Jessica Cavin Barnes, Johanna E. Elsensohn, Nicole Gutzmann, Michael S. Jones, Sheron King y Jayce Sud-weeks, "Anticipating complexity in the deployment of gene drive insects in agriculture", en *Journal of Responsible Innovation*, 5: supl, pp. S81-S97, 2017: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23299460.2017.1407910.

92 Virginie Courtier-Orgogozo, Baptiste Morizot y Christophe Boëte, "Agricultural Pest Control with CRISPR-based Gene Drive: Time for Public Debate: Should We Use Gene Drive for Pest Control?" en *EMBO Reports*, v. 18, n. 6, 1 de junio de 2017, pp. 878–80.

93 CBC, "Report of the Ad Hoc Technical Expert Group

on Synthetic Biology", Montreal, Canadá, 5-8 diciembre de 2017, CBD/SYNBIO/AHTEG/2017/1/3,https://www.cbd.int/doc/c/aa10/9160/6c3fcedf265dbee686715016/synbio-ahteg-2017-01-03-en.pdf.

[94] David A. Quist et al., "Hungry for innovation: pathways from GM crops to agroecology", en *European Environment Agency, Late lessons from early warnings: Science, precaution, innovation, European Environment Agency*: Copenhague, 2013. Véase: http://www.foodsovereignty.org/wp-content.

[95] Ver:http://www.foodsovereignty.org/wp-content/uploads/2015/02/Download-declaration-Agroecology-Nyeleni-2015.pdf.

[96] Jonathon Taplin, *Move Fast and Break Things: How Facebook, Google, and Amazon Cornered Culture and Undermined Democracy*, Boston: Little, Brown and Company, 2017.

[97] K.H. Redford, W. Adams y G.M. Mace, "Synthetic biology and conservation of nature: wicked problems and wicked solutions", en *PLOS Biology*, v. 11, n. 4, 2013.

[98] Ver el resumen y mensajes clave de la evaluación de IUCN: "Genes for Nature? An Assessment of Synthetic Biology and Biodiversity Conservation: https://www.iucn.org/sites/dev/files/iucn_assessment_of_synthetic_biology_and_biodiversity_conservation_-_peer_review_draft.compressed.pdf.

[99] Una definición útil del concepto de "problema perverso" puede ser consultada acá: https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_retorcido.

[100] K.H. Redford, W. Adams y G.M. Mace, "Synthetic biology and conservation of nature: wicked problems and wicked solutions", en *PLOS Biology,* v. 11, n. 4, 2013.

[101] Consulte un resumen en inglés aquí: http://www.genewatch.org/sub-568235. Para ver los informes recientes: http://www.genewatch.org/sub-405258 y https://gmwatch.org/en/articles/gm-myths.

[102] Grupo ETC, "170 organizaciones de todo el mundo llaman a una moratoria sobre la nueva tecnología de "extinción genética" en reunión de la ONU", 2016, http://www.etcgroup.org/es/content/160-global-groups-call-moratorium-new-genetic-extinction-technology-un-convention.

[103] Ver: http://genedrivefiles.synbiowatch.org/.

[104] Véase: http://www.nepad.org/content/towards-zero-malaria-2030-biological-control-mosquitoes.

[105] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*, National Academies Press, 2016.

[106] El Convenio de Biodiversidad los llama Organismos Vivos Modificados u OVMs. Ver: http://bch.cbd.int/protocol/cpb_faq.shtml#faq3.

[107] El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica puede descargarse aquí: http://bch.cbd.int/protocol/text/.

[108] Megan Molteni, "This Gene-Editing Tech Might Be Too Dangerous To Unleash", en *Wired*, 16 de noviembre de 2017, https://www.wired.com/story/this-gene-editing-tech-might-be-too-dangerous-to-unleash/.

[109] Keith R. Hayes, Geoffrey R. Hosack, Genya v. Dana, Scott D. Foster, Jessica H. Ford, Ron Thresher, Adrien Ickowicz, et al., "Identifying and Detecting Potentially Adverse Ecological Outcomes Associated with the Release of Gene-Drive Modified Organisms", en *Journal of Responsible Innovation*, v. 5, n. supl, 24 de enero de 2018, pp. S139-58.

[110] CBD, "Report of the Ad Hoc Technical Expert Group on Synthetic Biology", Montreal, Canadá, 5-8 diciembre de 2017, CBD/SYNBIO/AHTEG/2017/1/3, https://www.cbd.int/doc/c/aa10/9160/6c3fcedf265dbee686715016/synbio-ahteg-2017-01-03-en.pdf.

[111] Ver:https://treaties.un.org/doc/Treaties/1978/10/19781005%2000-39%20AM/Ch_XXVI_01p.pdf.

[112] David A. Quist *et al.*, "Hungry for innovation: pathways from GM crops to agroecology", in *Late lessons from early warnings: Science, precaution, innovation, European Environment Agency*: Copenhague, 2013.

[113] K.J. Boor, "Commitment to responsible science guides CALS plans for moth Trials", en *College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University*: Ithaca, 31 de marzo de 2016, https://cals.cornell.edu/about/news/commitment-responsible-science-guides-cals-plans-moth-trials/.

[114] R.G. Reeves et al., "Agricultural Research, or a new bioweapon system? Insect-delivered horizontal genetic alteration is concerning", en *Science*, v. 362, n. 6410, 5 de octubre de 2018.

[115] People's Knowledge Editorial Collective, *Everyday Experts: How people's knowledge can transform the food*, Coventry: The Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR, 2017, http://www.fao.org/agroecology/database/detail/en/c/1148947/.

[116] Ver: https://pinkchickenproject.com/#intro.



Diseñado en castellano con el apoyo de:

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
MÉXICO Y EL CARIBE

A todos los que firmaron la carta para llamar a una moratoria sobre los impulsores genéticos

A quienes organizaron discusiones y distribución de información sobre esta tecnología de exterminio

Este 29 de noviembre, durante de la reunión del Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD), en Egipto, 196 gobiernos adoptaron una decisión global sobre los impulsores genéticos. La decisión urge a la precaución y establece que debe buscarse el consentimiento informado o aprobación de parte de las comunidades y pueblos indígenas potencialmente afectados, antes siquiera de considerar la liberación en el ambiente de organismos equipados con impulsores genéticos.

Específicamente, el texto establece tres precondiciones antes de "considerar la liberación de los impulsores genéticos": los gobiernos necesitarán realizar una exhaustiva evaluación de riesgos, asegurar que haya medidas adecuadas para el manejo de riesgos para "prevenir o minimizar los efectos adversos" y asegurar que se busque el consentimiento de "los pueblos indígenas y las comunidades locales". Puesto que los impulsores genéticos de diseño pueden esparcirse mucho más allá del sitio en el que se liberan, el término "potencialmente afectados" debe considerar la cobertura de un área sumamente amplia. La decisión enfatiza específicamente que una liberación de impulsores genéticos podría impactar negativamente "el conocimiento tradicional, la innovación, las prácticas, las formas de vida y sustento y el uso de la tierra y el agua" de los pueblos indígenas y comunidades locales. Se trata de una decisión que devuelve, con toda razón, el control a las comunidades para decidir si los experimentos de esta tecnología deben realizarse en sus tierras y territorios.

Más aún, la decisión de la 14ava Conferencia de las Partes del CBD reconoce que antes de que esos organismos se consideren para liberación en el ambiente, se necesitan investigación, análisis y directrices específicas. Esas directrices serán desarrolladas por un Grupo Ad-Hoc de Expertos Técnicos, que también se estableció en otra de las decisiones adoptadas. El desarrollo de esas directrices formales puede tomar varios años y esperamos que los Estados responsables respeten el hecho de que dichas directrices deben desarrollarse antes de considerar cualquier aprobación de esta tecnología de manipulación genética. En términos prácticos, el proceso de elaboración de las directrices puede actuar como otro freno sobre la aprobación de liberaciones de organismos con impulsores genéticos.

Si bien esta no es la moratoria formal legal que todos deseábamos, sentimos que esta decisión es muy fuerte y significativa, y establece barreras sólidas a la liberación de los impulsores genéticos. Aún más importante, sin embargo, establece la trayectoria para la gobernanza global de los impulsores genéticos bajo un principio de justicia llano y sumamente importante: no meterse con territorio, el ambiente y las tierras de otros sin su consentimiento y mucho menos sin mostrar que lo que se pretende hacer es seguro.

La carta continúa en la siguiente página...

Entre las organizaciones firmantes se incluyen:





























El movimiento mundial por la alimentación y la agricultura dice **NO** a la liberación de impulsores genéticos